

Martin Krempaský

Využití sluneční energie v rodinném domě

Utilisation of Solar Energy in a Family House

Bakalářská práce

Vedoucí práce:
doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Ostrava 2021

Bibliografický záznam

Autor: Martin Krempaský, KRE0331

Název práce: Využití sluneční energie v rodinném domě

Studijní program: B2341 - Strojírenství

Vedoucí práce: doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Akademický rok: 2020/2021

Počet stran: 55

Klíčová slova: sluneční energie; solární kolektor; ohřev vody; solární soustava

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Bakalářská práce

Student:

Martin Krempaský

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

3907R009 Provoz energetických zařízení

Téma:

Využití sluneční energie v rodinném domě
Utilisation of Solar Energy in a Family House

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte tepelnou solární soustavu pro přípravu teplé vody ve vybraném rodinném domě obývaném celoročně 2 osobami. Práce bude obsahovat:

1. Rešerši zaměřenou na možnosti využití solárních soustav s fototermickými kolektory pro generaci tepla v podmínkách České republiky.
2. Návrh systému, způsobu jeho provozování, dispoziční řešení.
3. Stanovení měsíčních a ročních zisků.
4. Vyhodnocení návrhu z ekonomického a environmentálního hlediska.
5. Grafickou část - schéma zapojení.

Seznam doporučené odborné literatury:

CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. Praha: Malina, 1994. 203 s. ISBN 80–900759–5–9.

TURNER, W. C. *Energy Management Handbook*. 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 400 s. ISBN 0–13–728098–X.

MATUŠKA, T. *Solární tepelné soustavy*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194s. ISBN 978-80-02-02186-5.

MATUŠKA, T. *Solární zařízení v příkladech*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-2473525-2.

VRTEK, M. *Sluneční energie*. [online] Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2012. 111 s. [vid. 2020-10-10]. Dostupné z: http://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/21_Krajina-a-ZP_5455/54_IUT/140_Slunecni-energie---Vrtek---P3.pdf

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2020

Datum odevzdání: 17.05.2021

doc. Ing. Stanislav Honus, Ph.D.

vedoucí katedry

prof. Ing. Robert Čep, Ph.D.

děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 17.5.2021

.....

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 17.5.2021

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Martin Krempaský

Adresa trvalého pobytu autora práce:

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KREMPASKÝ, M., *Využití sluneční energie v rodinném domě*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2021, 55 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Vrtek, M., Ph.D

V Bakalářská práci se zabývám využitím sluneční energie v rodinném domě. Kdy se nejprve v teoretické části věnuji možnostem využití sluneční energie pro přípravu teplé vody na území České republiky. V praktické části pak provádím návrh a výpočet tepelné solární soustavy na přípravu teplé vody pro konkrétní rodinný dům obývaný 2 osobami. V závěru práce následně stanovuji měsíční a roční zisky soustavy, a dále navrženou tepelnou solární soustavu analyzuji z ekonomického a environmentálního hlediska.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KREMPASKÝ, M., *Utilisation of Solar Energy in a Family House*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering , 2021, 55 p. Thesis head: doc. Ing. Vrtek, M., Ph.D

In the bachelor thesis I deal with utilisation of solar energy in a family house. In the first (theoretical) part I write about thermic solar panels and its possibilities of use for water heating in family houses in the Czech Republic. Then in the practical part I make calculation and design of the solar system for specific family house inhabited by 2 people. In the final part I analyze designed solar system from an economic and environmental point of view.

Obsah

Seznam použitých značek	10
Seznam použitých zkratk	11
Úvod.....	12
1. Sluneční záření	13
1.1. Původ.....	13
1.2. Vlastnosti	14
1.3. Podmínky v ČR.....	14
2. Solární kolektory	16
2.1. Ploché solární kolektory	17
2.2. Trubicové solární kolektory	18
2.3. Bazénové absorbéry	20
2.4. Koncentrační kolektory	21
2.5. Stagnační teplota.....	21
3. Solární tepelné soustavy	23
3.1. Solární soustavy pro ohřev TV	24
3.1.1. Samotížný oběh	24
3.1.2. Nucený oběh.....	25
3.2. Solární soustavy pro ohřev TV a přitápění	26
4. Možnosti dotací.....	27
5. Návrh solárního systému	28
5.1. Vstupní výpočet.....	28
5.2. Volba kolektoru	29
5.3. Výpočet kolektoru	31
5.3.1. Průměrná měsíční účinnost kolektoru	31
5.3.2. Měrný tepelný zisk kolektoru.....	32
5.3.3. Návrh počtu kolektorů.....	33
5.3.4. Energetická bilance v jednotlivých měsících	34
5.4. Volba zbylých prvků solárního systému	37
6. Ekonomické zhodnocení	39
6.1. Stanovení ročních ušetřených nákladů	39
6.2. Stanovení doby návratnosti.....	40
7. Environmentální zhodnocení.....	44
7.1. Stanovení množství emisí před pořízením SS.....	44
7.2. Stanovení množství emisí po pořízení SS	47
Závěr	50

Poděkování	51
Citace.....	52
Seznam obrázků	54
Seznam tabulek.....	54
Seznam příloh	55

Seznam použitých značek

a_1	lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
a_2	kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^2]$
c	měrná tepelná kapacita vody	$[\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}]$
$C_{\text{ena}_{\text{pal}}}$	cena zemního plynu	$[\text{Kč}/\text{m}^3]$
CF	roční přínosy solární soustavy	$[\text{Kč}]$
CO	emisní faktor oxidu uhelnatého	$[\text{kg}/\text{MWh}]; [\text{kg}/\text{m}^3]$
CO_2	emisní faktor oxidu uhličitého	$[\text{kg}/\text{MWh}]; [\text{kg}/\text{m}^3]$
$CO_{2,\text{čerp}}$	roční produkce CO_2 čerpadlem	$[\text{kg}]$
$CO_{2,\text{po}}$	roční produkce CO_2 po pořízení solárního systému	$[\text{kg}]$
$CO_{2,\text{před}}$	roční produkce CO_2 před pořízením solárního systému	$[\text{kg}]$
$CO_{\text{čerp}}$	roční produkce CO čerpadlem	$[\text{kg}]$
CO_{po}	roční produkce CO po pořízení solárního systému	$[\text{kg}]$
$CO_{\text{před}}$	roční produkce CO před pořízením solárního systému	$[\text{kg}]$
d	počet dní v měsíci	$[-]$
f	solární podíl	$[\%]$
G	intenzita celkového záření dopadajícího na kolektor	$[\text{W}/\text{m}^2]$
IN	investiční náklady	$[\text{Kč}]$
$m_{\text{čerp}}$	roční množství energie spotřebované čerpadlem	$[\text{kWh}]$
$m_{o,d}$	spotřeba osoby za den	$[\text{l}]$
$m_{p,po}$	roční spotřeba paliva po pořízení solárního systému	$[\text{kg}]$
$m_{p,před}$	roční spotřeba paliva bez solárního systému	$[\text{m}^3]$
$m_{p,u}$	roční množství ušetřeného paliva	$[\text{m}^3]$
$m_{p,uš}$	roční množství ušetřeného paliva	$[\text{kg}]$
n	počet osob	$[-]$
n_{kol}	počet kolektorů	$[-]$
NO_x	emisní faktor oxidů dusíku	$[\text{kg}/\text{MWh}]; [\text{kg}/\text{m}^3]$
$NO_{x,\text{čerp}}$	roční produkce NO_x čerpadlem	$[\text{kg}]$
$NO_{x,po}$	roční produkce NO_x po pořízení solárního systému	$[\text{kg}]$
$NO_{x,před}$	roční produkce NO_x před pořízením solárního systému	$[\text{kg}]$
OL	emisní faktor organických látek	$[\text{kg}/\text{MWh}]; [\text{kg}/\text{m}^3]$
OL_{po}	roční produkce LO po pořízení solárního systému	$[\text{kg}]$
$OL_{před}$	roční produkce LO před pořízením solárního systému	$[\text{kg}]$
PM_{25}	emisní faktor PM_{25}	$[\text{kg}/\text{MWh}]; [\text{kg}/\text{m}^3]$
$PM_{25,\text{čerp}}$	roční produkce PM_{25} čerpadlem	$[\text{kg}]$
$Q_{z,r,sk}^*$	upravený roční tepelný zisk solární soustavy	$[\text{kWh}]$
Q_i	výhřevnost zemního plynu	$[\text{MJ}/\text{m}^3]$
Q_k	měrný tepelný zisk kolektoru	$[\text{kWh}/\text{m}^2]$
$Q_{p,m}$	potřebné teplo na přípravu TV za jeden měsíc	$[\text{kWh}]$
$Q_{p,r}$	roční potřeba tepla pro přípravu teplé vody	$[\text{kWh}]$

$Q_{rza,skut}$	skutečný roční zisk tepla vztažený na m^2 plochy apertury	[kWh/ m^2]
$Q_{s,m}$	skutečné množství dopadajícího záření	[kWh/ m^2]
$Q_{s,t}$	teoretická energie dopadající za den	[kWh/ m^2]
$Q_{z,m}$	maximální měsíční zisk tepla solární soustavy	[kWh]
$Q_{z,r}$	maximální celoroční tepelný zisk solární soustavy	[kWh]
$Q_{z,r,skut}$	skutečný celoroční tepelný zisk solární soustavy	[kWh]
r	diskont	[-]
S_a	plocha apertury kolektoru	[m^2]
$S_{a,c}$	celková plocha apertury kolektoru	[m^2]
SO_2	emisní faktor oxidu siřičitého	[kg/MWh];[kg/ m^3]
$SO_{2,čerp}$	roční produkce SO_2 čerpadlem	[kg]
$SO_{2,po}$	roční produkce SO_2 po pořízení solárního systému	[kg]
$SO_{2,před}$	roční produkce SO_2 před pořízením solárního systému	[kg]
S_t	teoretická plocha kolektoru	[m^2]
t_1	teplota vody na vstupu	[°C]
t_2	teplota vody na výstupu	[°C]
t_e	střední teplota okolí v době slunečního svitu	[°C]
T_s	prostá doba návratnosti	[rok]
$t_{stř}$	střední teplota teplotonosné kapaliny	[°C]
TZL	emisní faktor tuhých znečišťujících látek	[kg/MWh];[kg/ m^3]
$TZL_{čerp}$	roční produkce TZL čerpadlem	[kg]
TZL_{po}	roční produkce TZL po pořízení solárního systému	[kg]
$TZL_{před}$	roční produkce TZL před pořízením solárního systému	[kg]
T_z	životnost solárního kolektoru	[rok]
VOC	emisní faktor VOC	[kg/MWh];[kg/ m^3]
$VOC_{čerp}$	roční produkce VOC čerpadlem	[kg]
V_z	minimální objem zásobníku	[l]
z	ztrátový součinitel	[-]
η	účinnost kolektoru v daném měsíci	[-]
η_0	optická účinnost kolektoru	[-]
η_k	účinnost plynového kotle	[-]
τ_{rel}	relativní doba slunečního svitu	[-]
τ_{teor}	teoretická doba slunečního svitu	[h]

Seznam použitých zkratk

SS	solární soustava
TV	teplá voda
CPC	compound parabolic concentrator
$ČR$	Česká republika

Úvod

V posledních letech se začínají výrazně projevovat následky globálního oteplování, jako jsou například tání ledovců a s tím spojené zvyšování hladiny moří, negativní vliv na vymírání živočichů, ale například také výkyvy počasí v podobě extrémních veder a sucha, nebo naopak nárůst srážek. Jedním z důvodů proč dochází ke globálnímu oteplování je zvyšování obsahu skleníkových plynů v atmosféře a to zejména oxidu uhličitého, kterého je člověkem produkováno z důvodu nárustu počtu obyvatel na Zemi a využívání fosilních paliv, čím dál víc.

Tento problém se začíná v posledních letech výrazně řešit a to tak, že se tlačí na snižování produkce emisí oxidu uhličitého postupným odklonem od zdrojů energie, které jsou založeny na spalování fosilních paliv. Tímto ale vzniká nový problém, čím tyto klasické zdroje energie nahradit. Proto se tlačí na rozvoj různých alternativních a obnovitelných zdrojů energie, které při svém používání produkují menší a nebo vůbec žádné množství skleníkových plynů.

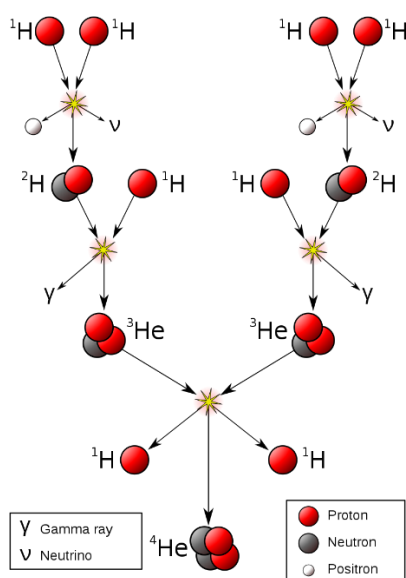
Jedním takovým alternativním zdrojem energie jsou solární kolektory, které se využívají k ohřevu teplé vody nebo také k vytápění a to jak u malých rodinných domů, tak u velkých komplexů. Právě ohřevem teplé vody v rodinném domě pomocí solárního kolektoru se budu v práci zabývat. Toto téma jsem si zvolil jelikož jsem chtěl zjistit, zda má opravdu pořízení tepelné solární soustavy pro náš rodinný dům do budoucna smysl.

V teoretické části práce se budu zabývat možnostmi využití solárních soustav s fototermickými kolektory ke generaci tepla na území ČR. V navazující praktické části se budu zabývat návrhem a výpočtem tepelné solární soustavy pro přípravu teplé vody pro náš konkrétní rodinný dům. Navrženou solární soustavu dále zhodnotím jak z ekonomického, tak z environmentálního hlediska abych si mohl udělat obrázek o tom zda je tento alternativní zdroj energie doopravdy výhodný.

1. Sluneční záření

1.1. Původ

Slunce je hvězda složená převážně z atomů vodíku (70 %), helia (28 %) a nepatrného množství ostatních prvků. Je zdrojem drtivé většiny energie, kterou na Zemi máme k dispozici. Ke vzniku této energie dochází v centrálních oblastech Slunce, při takzvané termonukleární reakci (termonukleární fúzi) viz Obrázek 1. Při zmíněné reakci dochází za obrovských teplot a tlaků ke spojení čtyř protonů vodíku, ze kterých následně vzniká jedno jádro hélia. Výsledná hmotnost jádra hélia je menší, než hmotnost čtyř protonů vodíku, což je zapříčiněno tím, že je při této reakci určitá část hmoty přeměněna na záření (energii fotonů). Při cestě ze Slunce na Zemi není toto záření nijak pohlcováno, pouze se rozptyluje na větší plochu. Jenom zlomek tohoto záření, který činí přibližně dvě miliardy (tj. asi $7,7 \times 10^{17}$ kW) z celkového výkonu vyzařovaného sluncem, následně dopadá na Zemi. Z toho se 34 % odrazí zpět do vesmíru, okolo 19 % se pohltí v atmosféře a zbývajících přibližně 47 % sluneční energie je pohlceno zemským povrchem. I přesto že na Zemi dopadá jenom zlomek z celkové energie vyzářené Sluncem, dokázali-li bychom tuto energii zachytit, pokryla by několikasetnásobně světovou spotřebu. [1] [2]

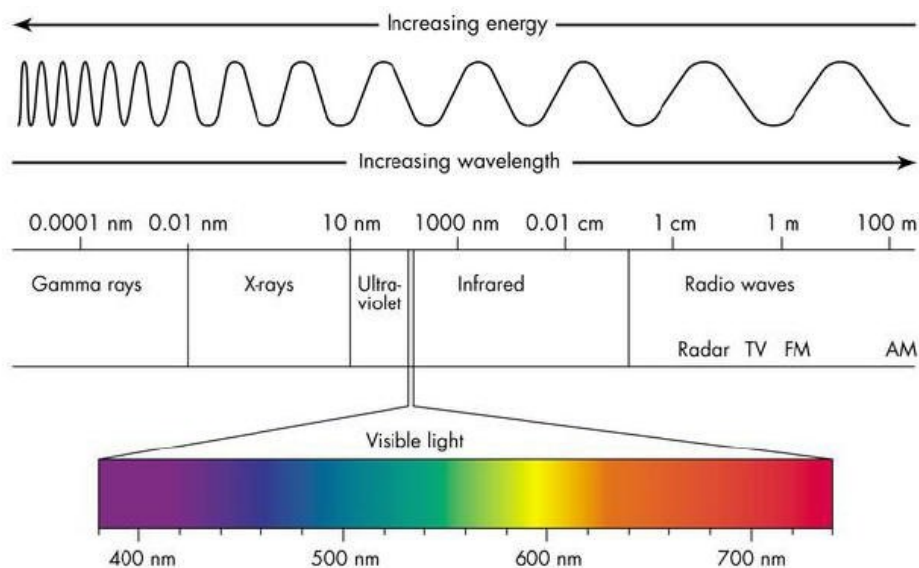


Obrázek 1: Několikanásobná termonukleární fúze ve slunci [3]

1.2. Vlastnosti

Záření neboli radiace je určitý druh přenosu energie, který společně s konvekcí (přenos tepla prouděním) a kondukcí (vedení tepla) tvoří základní druhy sdílení tepla. Radiace na rozdíl od zbylých dvou druhů nepotřebuje k přenosu energie hmotné prostředí, a proto se může šířit i vzduchoprázdňem.

Sluneční záření je elektromagnetické vlnění o velkém spektru vlnových délek. Před vstupem do atmosféry připomíná spektrum absolutně černého tělesa o teplotě 6000 K. Jak můžete vidět na Obrázku 2, záření se podle vlnových délek resp. frekvence rozlišuje na gama záření, rentgenové záření, ultrafialové záření, viditelné záření, infračervené záření a rádiové vlny. Přičemž největší část tvoří viditelné sluneční záření (přibližně 48 % z celkového slunečního záření) a infračervené sluneční záření (přibližně 45 % z celkového slunečního záření). [1]

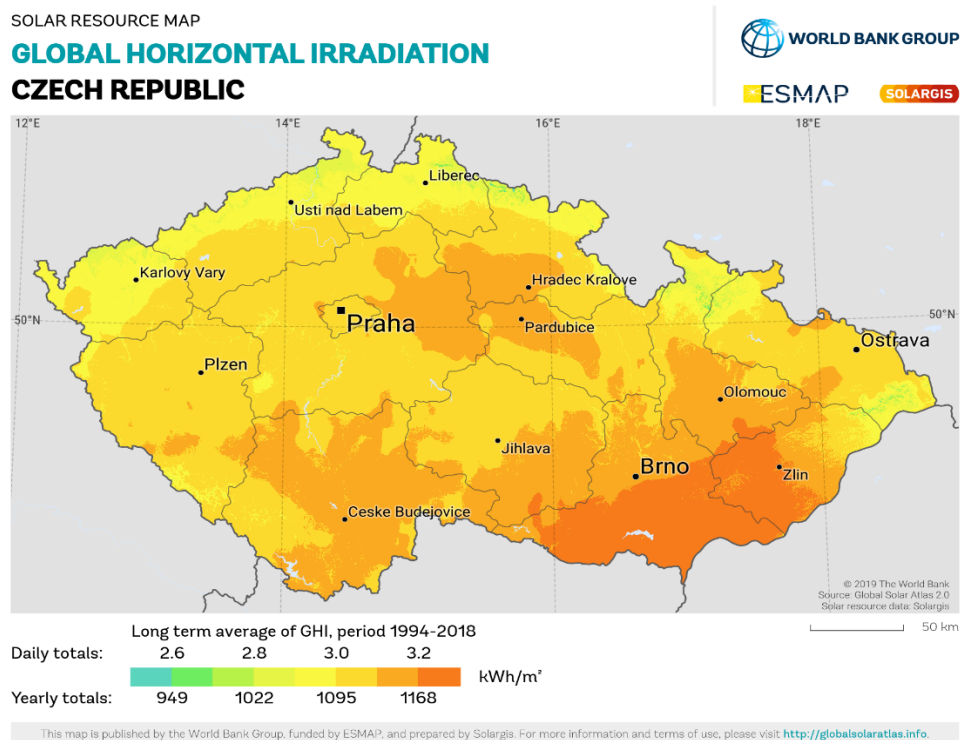


Obrázek 2: Elektromagnetické spektrum se zvýrazněnou viditelnou oblastí [1]

1.3. Podmínky v ČR

Roční úhrn dopadajícího slunečního záření se v ČR pohybuje mezi 950 – 1250 kWh/m² a je ovlivněn zejména zeměpisnou polohou, dobou slunečního svitu, nadmořskou výškou a čistotou ovzduší. Celková doba svitu (bez oblačnosti) na našem území se pohybuje v rozmezí

od 1400 do 1800 hodin za rok. Z těchto hledisek jsou podmínky pro využití sluneční energie v České republice celkem dobré. Na druhou stranu je nevýhodou fakt, že až 75 % z ročního dopadajícího záření dopadá v letním období. Tudíž dochází k velkým výkyvům mezi ročními obdobími. [4]



Obrázek 3: – Mapa s roční sumou dopadajícího globálního záření na území ČR [5]

2. Solární kolektory

Solární kolektory se společně s fotovoltaickými panely řadí mezi aktivní solární systémy. Rozdíl je však v tom, že fotovoltaické panely transformují sluneční záření v elektřinu, zatímco solární kolektory slouží k přeměně slunečního záření v tepelnou energii, což je jedna z nejjednodušších možností jak můžeme sluneční energii využít.

Zjednodušený princip přeměny sluneční energie v energii tepelnou spočívá v zachycení slunečního záření absorberem, na jehož vysoce selektivním povrchu dochází k transformaci záření na tepelnou energii, která je dále předána teponosnému médium kolujícímu uvnitř daného systému. Toto teplo je dále využito podle potřeby a typu solárního systému.

Podle použité teponosné látky je můžeme rozdělit na kapalinové a vzduchové kolektory. Jelikož se vzduchové kolektory používají jenom okrajově (např. pro předehřev čerstvého vzduchu pro větrání, nebo pro předehřev oběhového vzduchu pro cirkulační vytápění), budu se dále bavit hlavně o kapalinových kolektorech, které jsou využívány v naprosté většině případů. Využívanou teponosnou látkou u těchto solárních kolektorů je kapalina (voda, nemrznoucí směs vody a propylenglykolu). [1]

Využití:

- vytápění objektů,
- příprava teplé vody,
- ohřev vody pro bazény.

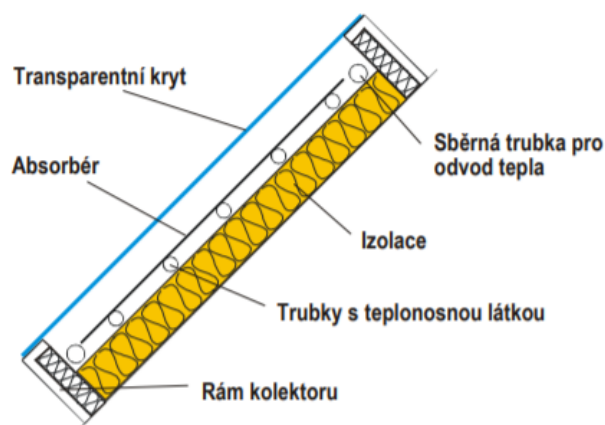
Tabulka 1: Rozdělení solárních kolektorů (vlastní zpracování) [4]

Solární kolektory				
Teponosná látka	Konstrukce	Zasklení	Absorbér	Tlak výplně
- kapalinové	- ploché	- bez zasklení	- plastový	- atmosferický
- vzduchové	- trubkové	- jednoduché	- kovový (neselektivní)	- subatmosferický (vakuový)
	- koncentrační	- vícevrstvé	- kovový (selektivní)	
		- struktura	- akumulační	

2.1. Ploché solární kolektory

Ploché solární kolektory jsou nejčastěji využívanými kolektory a to i díky menší pořizovací ceně, která je zapříčiněna jednodušší konstrukcí. Uplatňují se také díky svojí možnosti integrace do střech a fasád, což má příznivý vliv na stagnaci solární soustavy v letních měsících. [2]

Vyznačují se velkou plochou aperturou, která bývá vyrobena z odolného tvrzeného skla s vysokou propustností slunečního záření. Dále plochým absorberem s vysoce selektivním povrchem, který je vyráběn z mědi nebo hliníku a bývá buď celoplošný (jeden plech) nebo dělený (lamely). Na absorber je nalisováno nebo navařeno potrubí s teplotonosnou kapalinou, která dále odvádí naakumulované teplo z absorberu na potřebné místo. [1]

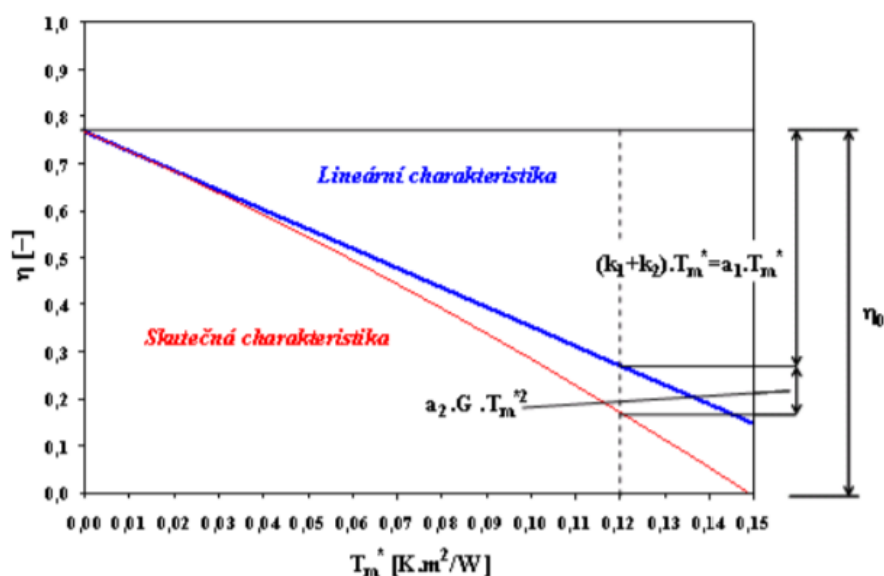


Obrázek 4: Schématický řez plochým solárním kolektorem [4]

Účinnost těchto kolektorů je ovlivněna tepelnými ztrátami ve formě konvekce, kdy dochází k tomu, že teplejší absorber odevzdává část svého tepla chladnějšímu okolnímu vzduchu. Z toho můžeme usoudit, že účinnost je závislá na rozdílu teplot kolektoru a okolního vzduchu. To vede k horším účinnostem zejména v zimních měsících. Skutečnou účinnostní charakteristiku kolektoru můžeme určit podle vztahu (2.1).

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{stř} - t_e}{G} - a_2 \cdot \frac{(t_{stř} - t_e)^2}{G} \quad [-] \quad (2.1)$$

- kde η_0 optická účinnost kolektoru [-],
- a_1 lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$],
- a_2 kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^2$],
- t_e střední teplota okolí v době slunečního svitu [$^{\circ}\text{C}$],
- G intenzita celkového záření dopadajícího na kolektor [W/m^2].

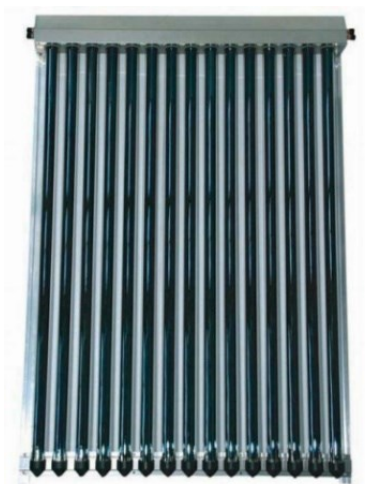


Obrázek 5: Porovnání lineární a skutečné účinnostní charakteristiky kolektoru [1]

2.2. Trubicové solární kolektory

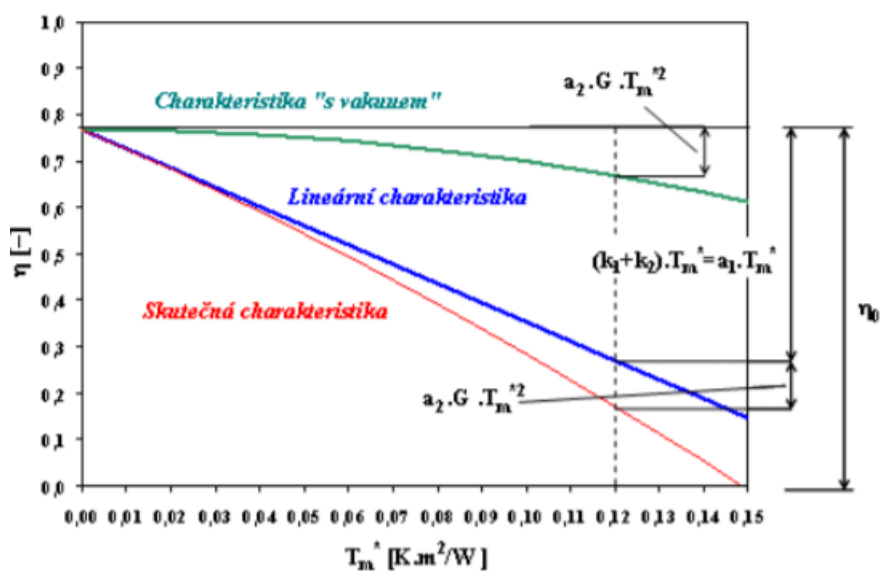
Jak můžete vidět na Obrázku 6, hlavní rozdíl mezi plochým a trubicovým solárním kolektorem je v konstrukci. Obecně se tento druh vyznačuje válcovou aperturou (zasklením). Kvůli svojí složitější konstrukci jsou trubicové solární kolektory značně dražší než ploché kolektory. Cena je pak jedním z hlavních důvodů, proč se více využívají ploché kolektory, kdy si namísto jednoho trubicového kolektoru můžete pořídit více plochých kolektorů.

U tohoto typu kolektorů se využívá vytvoření vakua mezi obalovou konstrukcí a absorberem, čímž se omezují tepelné ztráty konvekcí a kondukcí. Vakuum tedy funguje jako tepelná izolace. Pro představu stejný princip se využívá např. v termoskách. [1]



Obrázek 6: Trubicový solární kolektor [1]

Trubicové (vakuové) kolektory díky využití vakua k tepelné izolaci, eliminují uváděné nedostatky (tepelné ztráty) u plochých kolektorů. Účinnostní charakteristika bude tedy méně strmá než u plochého kolektoru (viz Obrázek 7). Účinnost se oproti plochým kolektorům při rostoucím rozdílu teplot okolí a absorberu, mění podstatně méně. Proto trubicové kolektory pracují uspokojivě i v zimních měsících. [2]



Obrázek 7: Naznačení průběhu účinnostní charakteristiky při izolaci pomocí vakua [1]

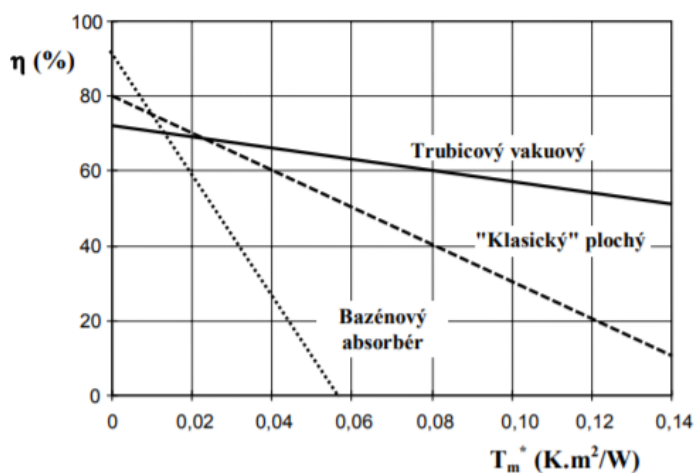
2.3. Bazénové absorbéry

Jedná se o nejjednodušší typ solárních kolektorů, využívaný zejména v letních měsících k ohřevu vody v bazénech. Nejsou kryté žádnou transparentní vrstvou a postrádají také jakoukoliv tepelnou izolaci. Vyrábí se z plastu, kaučuku, pogumovaného textilu a často bývají složitelné z důvodu lepšího uskladnění v měsících kdy se nedají využívat.



Obrázek 8: Příklad bazénového absorberu [6]

Z důvodu absence jakékoliv transparentní vrstvy, ve které při průchodu záření dochází ke ztrátám, mají bazénové absorbéry nejlepší optickou účinnost (viz Obrázek 9). Nicméně při větších rozdílech mezi střední teplotou kolektoru a teplotou okolního vzduchu jejich účinnost rapidně klesá.



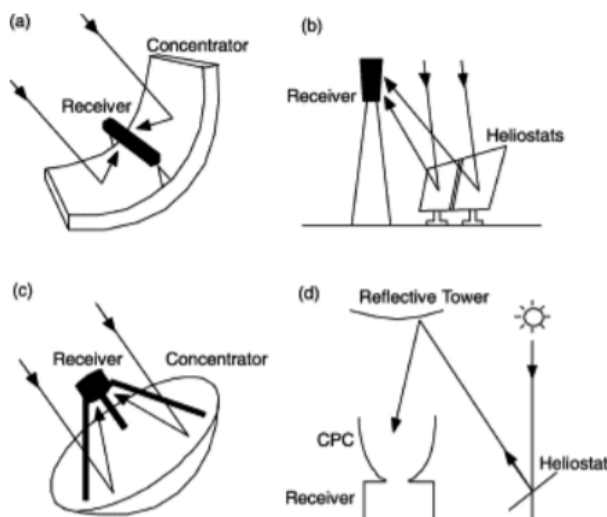
Obrázek 9: Srovnání účinnostních charakteristik jednotlivých typů solárních kolektorů [1]

2.4. Koncentrační kolektory

Tento typ kolektorů využívá koncentrace pouze přímého slunečního záření a používá se tam, kde je zapotřebí získat teplo na vyšší teplotní úrovni, než u běžných solárních kolektorů. Využívají koncentrace přímého slunečního záření, která je prováděna za pomoci zrcadel a čoček odrážejících záření do jejich ohniska, kde je umístěn například absorbér.

Druhy a princip koncentračních systému (viz Obrázek 10):

- a) parabolické žlaby,
- b) systémy s heliostaty,
- c) dish systémy,
- d) kombinované systémy z heliostatů a CPC.



Obrázek 10: Principy koncentračních systémů [1]

2.5. Stagnační teplota

Stagnace je negativní jev, ke kterému dochází především u kombinovaných soustav s přitápěním objektů, z důvodu předimenzování plochy solárních kolektorů a objemu zásobníku tepla, kdy v letních měsících vznikají vysoké přebytky tepla, které už není kam odvádět. Z důvodu toho, že se teplo nikam neodvádí, se kolektor začne přehřívat a teplota látky se dostane do bodu varu, přičemž dochází ke vzniku páry o vysoké teplotě, která proniká do rozvodů solární soustavy.

Pronikání páry o vysoké teplotě do rozvodů solární soustavy je špatné z hlediska toho, že se může dostat do čerpadel, výměníků a dalších prvků systému, které nejsou na tyto podmínky stavěny. Proto může docházet k jejich rychlejšímu opotřebení a dokonce i zničení.

Problémům spojeným se stagnací se dá vyvarovat již při navrhování solárního systému, zvolením určitých prvků, které brání vzniku páry nebo zamezují jejímu proniknutí do solárního okruhu. Další možností jak předejít stagnaci je využití přebytečného tepla pro ohřev vody v bazénu, když máte tu možnost, nebo také integrace solárních kolektorů do obálky budov (střechy, fasády), čímž se dá snížit četnost stagnačních podmínek a jejich úroveň. [2]

Typ kolektoru	Stagnační teplota (1000 W/m ² ;20°C)
Bazénový kolektor, bez krycí transparentní vrstvy, neizolovaný	70 - 90 °C
Plochý kolektor, černá vrstva	120 - 140 °C
Plochý kolektor, selektivní vrstva	120 - 240 °C
Vakuový kolektor	150 - 300 °C
Koncentrační kolektory s naváděním	dle stupně koncentrace (i přes 1000°C)

Obrázek 11: Stagnační teploty jednotlivých solárních kolektorů [7]

3. Solární tepelné soustavy

Solární tepelné soustavy jsou komplexní systémy sestavené z více prvků (např. kolektor, čerpadlo, potrubí, pojistný ventil, expanzní nádoba, zpětná klapka, atd.) tvořící jeden celek, který nám v konečné fázi umožňuje přeměnu sluneční energie ve formě záření, na energii tepelnou a její následné využití pro energetické zásobování budov podle našich potřeb. Tyto soustavy se můžou dále dělit dle různých kritérií, základní z nich jsou uvedeny níže.

Rozdělení dle teplotnosné látky:

- vzduchové,
- kapalinové (voda, nemrznoucí směs).

Rozdělení dle doby využití:

- sezonní,
- celoroční.

Rozdělení dle způsobu oběhu teplotnosné látky:

- soustavy se samotížným oběhem,
- soustavy s nuceným oběhem.

Rozdělení dle využití:

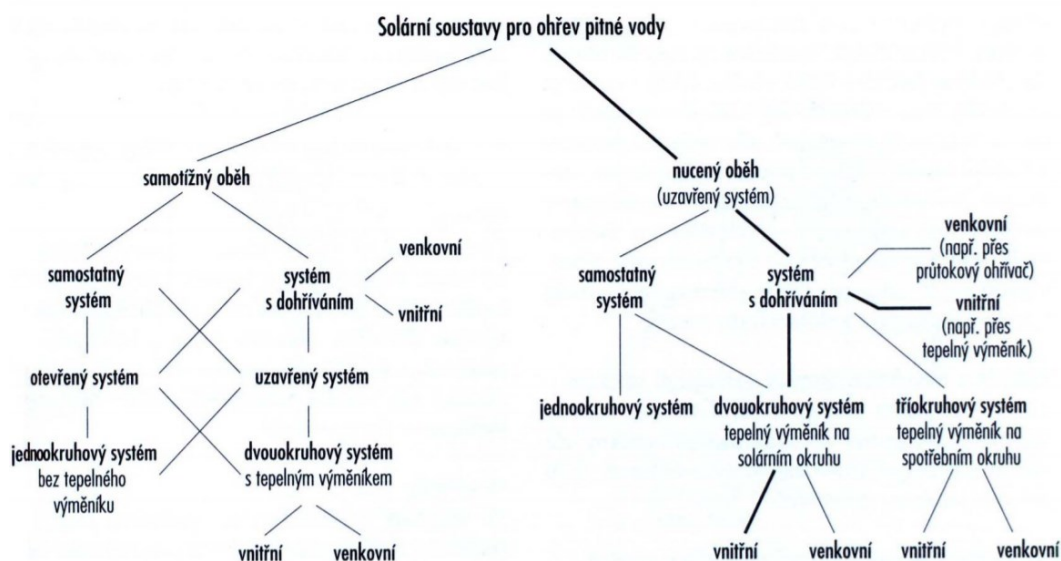
- pro ohřevu vody (pitné, bazénové),
- pro vytápění,
- pro kombinovaný ohřev vody s vytápěním,
- pro chlazení.

Rozdělení dle kolektorové plochy:

- maloplošné ($< 20 \text{ m}^2$),
- středněplošné ($20 - 200 \text{ m}^2$),
- velkoplošné ($> 200 \text{ m}^2$).

3.1. Solární soustavy pro ohřev TV

Díky víceméně rovnoměrné potřebě tepla pro přípravu TV v průběhu celého roku, mají tyto solární soustavy dobrou využitelnost. Jelikož energie pro přípravu TV v budovách tvoří velkou část naší energetické potřeby, jsou solární soustavy při zavádění úspor logickým krokem hned po zateplování budov. Tyto solární soustavy se dělí na dva hlavní druhy a to se samotížným a nuceným oběhem. Ty se pak dělí na mnoho dalších variant (viz Obrázek 12).

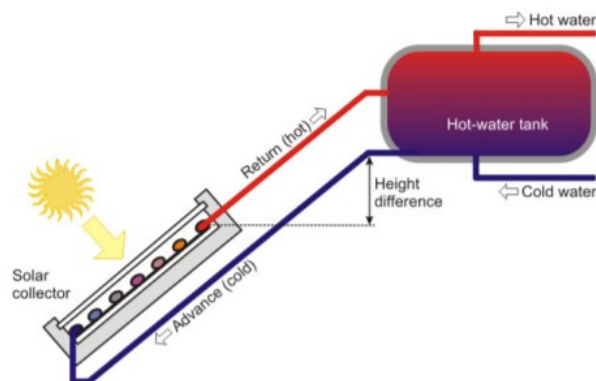


Obrázek 12: Schéma rozdělení solárních soustav pro ohřev TV [7]

3.1.1. Samotížný oběh

Samotížné soustavy, také označované jako termosifonové, využívají pro cirkulaci fyzikálních vlastností vody, kdy teplá voda má menší hustotu než voda studená. Proto dochází k samovolné cirkulaci, kde je teplá voda („lehčí“) vytlačována směrem nahoru vodou studenou („těžší“). Nevýhodou je, že pro správné fungování tohoto systému musí být dodržena zásadní podmínka, kdy kolektor musí být umístěn níže než zásobník s vodou. Výhodou je naopak jejich jednoduchost a nezávislost na dodávkách elektrické energie.

Na (Obrázku 13) je znázorněn jednookruhový systém. U těchto systému proudí v kolektorech přímo ohřívána voda, není zde výměník tepla. Kvůli nutnosti jejich vypouštění se využívají sezónně a to hlavně k ohřevu vody v bazénech, pro ohřev TV jsou používány zřídka. [1]

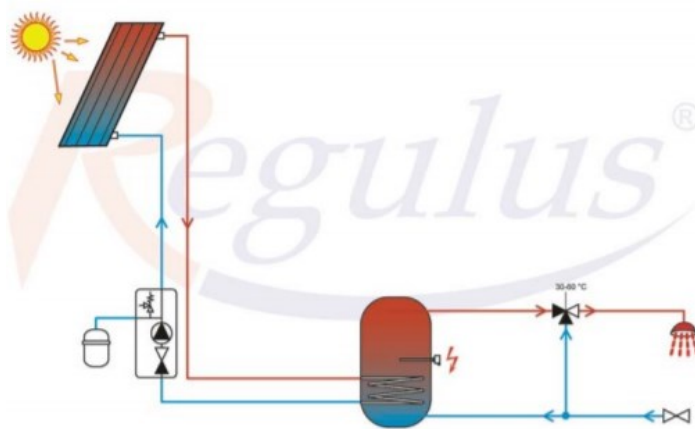


Obrázek 13: Jednookruhová soustava se samotížným oběhem [1]

3.1.2. Nucený oběh

Soustavy s nuceným oběhem jsou v našich klimatických podmínkách nejběžnější. Na rozdíl od samotížných soustav obsahují čerpadlo, které zajišťuje cirkulaci vody. Z důvodu použití čerpadla je zde nutný regulátor, který řídí jeho správný chod. Nevýhodou oproti samotížné soustavě je závislost na dodávkách elektrické energie a vyšší cena ovlivněna větším počtem komponentů v soustavě. Na druhou stranu výhodou je celoroční provoz a libovolné umístění nádrže a kolektoru.

Dvouokruhový systém uvedený na (Obrázku 14) se vyznačuje tím, že kolektorový okruh s teplosměnnou kapalinou a okruh ohřívání vody jsou od sebe odděleny teplosměnnou plochou (výměníkem). Tento systém je v České republice nejběžnější, jelikož při použití nemrznoucí kapaliny umožňuje celoroční provoz.

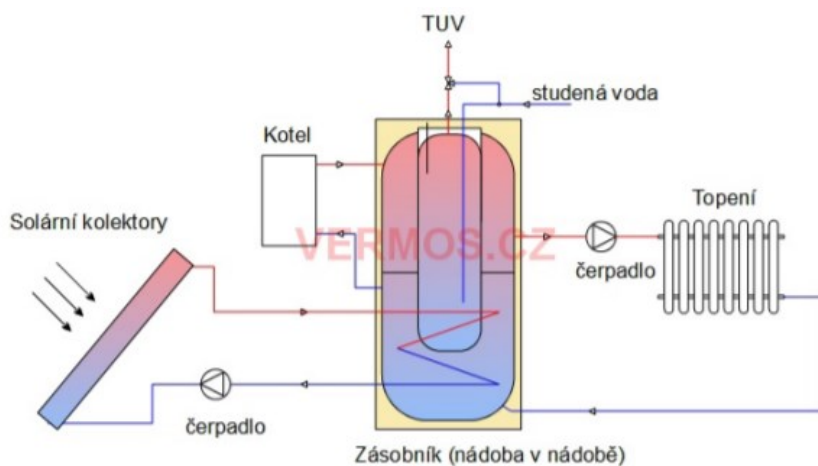


Obrázek 14: Dvouokruhová soustava s nuceným oběhem [1]

3.2. Solární soustavy pro ohřev TV a přitápění

U kombinovaných solárních soustav, které pokrývají v přechodném období kromě potřeby tepla na přípravu teplé vody i přitápění, jsou výrazně vyšší letní přebytky tepla. Soustava je pro letní období významně předimenzovaná a musí být navržena způsobem, který umožní bezproblémový provoz i v případě častého výskytu stagnace (stav kolektorů bez odběru tepla při vysokém příjmu sluneční energie). Ideálním řešením tohoto problému je například možnost využití letních přebytků tepla pro ohřev vody v bazénu.

Kombinované solární soustavy se využívají především pro energeticky úsporné stavby (nízkoenergetické a pasivní domy) s nízkoteplotní otopnou soustavou. Zásobníky u těchto systémů jsou vyráběny s objemem od 550 do 1350 litrů. K akumulaci tepla je zde vytvořen mezikruh oddělený od pitné vody (viz Obrázek 15).



Obrázek 15: Schéma solární soustavy s možností přitápění [1]

4. Možnosti dotací

Ministerstvo životního prostředí přišlo s programem Nová zelená úsporám, který je zaměřen na podporu opatření ke snížení energetické náročnosti budov, na podporu efektivního využití zdrojů energie v obytných domech a v budovách veřejného sektoru a na podporu výstavby budov s velmi nízkou energetickou náročností.

Hlavním cílem tohoto programu je zlepšit stav životního prostředí, snížení produkce emisí a skleníkových plynů, zvýšení kvality bydlení občanů a nastartování dlouhodobých progresivních trendů.

V rámci tohoto programu je možno si do 31. prosince 2021 zažádat o jednorázovou fixní dotaci ve výši 35 000 Kč na solární termický systém na přípravu teplé vody, nebo dotaci ve výši 50 000 Kč na solární termický systém na přípravu teplé vody a přitápění. V Moravskoslezském a Ústeckém kraji jsou tyto dotace navýšeny o 10 %, což znamená navýšení uvedených částek na 38 500 Kč a 55 000 Kč. Podmínky, které je nutno dodržet kvůli získání dotace pro solární termický systém na přípravu teplé vody (A) a pro solární termický systém na přípravu teplé vody a přitápění (B), jsou uvedeny v tabulce 2. [8]

Tabulka 2: Požadované podmínky pro získání dotací pro solární termický systém [9]

Sledovaný parametr	Označení [jednotky]	A	B
Vypočtený celkový využitelný zisk solární soustavy	$Q_{z,r,skut}$ [kWh/rok]	bez požadavku	≥ 2200
Vypočtený měrný využitelný zisk solární soustavy	$Q_{rza,skut}$ [kWh/m ² · rok]	≥ 350	≥ 280
Minimální pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody	f [%]	50	bez požadavku
Minimální měrný objem akumulčního zásobníku tepla vztažený k celkové ploše apertury	[l · m ²]	45	45

5. Návrh solárního systému

V této části práce se budu věnovat návrhu a výpočtu tepelného solárního systému na přípravu teplé vody pro rodinný dům nacházející se v obci Horní Suchá, který je obývaný 2 osobami. Voda je ohřívána z $t_1 = 10\text{ °C}$ na $t_2 = 50\text{ °C}$ a denní spotřeba teplé vody činí $m_{o,d} = 40\text{ l/os}$. Sklon střechy je 45° a azimutový úhel je 30° . Jelikož je solární systém zcela ovlivněn počasím a ročním obdobím, jedná se o nestabilní zdroj tepla pro přípravu TV, proto bude nutno využít doplňkový zdroj pro ohřev vody. V našem případě se jedná o plynový kotel, který bude v zimních měsících dokonce primárním zdrojem tepla, jelikož solární systém nebude schopen pokrýt naše potřeby tepla pro přípravu TV.

5.1. Vstupní výpočet

Jako první je potřeba si spočítat měsíční potřeby tepla pro přípravu TV dle vztahu (5.1), a následně stanovit množství skutečného slunečního záření dopadajícího na plochu orientace (vztah 5.2). Na základě těchto hodnot budu moci dále pokračovat ve volbě a výpočtu solárního kolektoru. Výpočet je proveden pro 2 osoby s denní spotřebou 40 l/os, s tím že voda je celoročně ohřívána z 10 °C na 50 °C a zvolené ztráty 0,15 odpovídají zásobníkovému ohřevu bez cirkulace. Všechny dále uvedené výpočty budou pro měsíc leden.

$$Q_{p,m} = \frac{n \cdot m_{o,d} \cdot d \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \cdot (1 + z)}{3600} \quad [\text{kWh}] \quad (5.1)$$

kde $Q_{p,m}$ potřebné teplo na přípravu TV za jeden měsíc [kWh],
 n počet osob [-],
 $m_{o,d}$ spotřeba osoby za den [l],
 d počet dní v měsíci [-],
 c měrná tepelná kapacita vody [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 t_1 teplota vody na vstupu [$^\circ\text{C}$],
 t_2 teplota vody na výstupu [$^\circ\text{C}$],
 z ztrátový součinitel [-].

$$Q_{p,m} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 31 \cdot 4,18 \cdot (50 - 10) \cdot (1 + 0,15)}{3600} = 132,46 \text{ kWh}$$

Do vzorce dosadím a spočítám pro každý měsíc zvlášť, měnit se bude pouze hodnota počtu dní v měsíci. Vypočtené hodnoty za jednotlivé měsíce dále sečtu a získám $Q_{p,r}$ neboli roční potřebu tepla pro přípravu TV, která je uvedena v tabulce 3.

Následně musím stanovit množství skutečného slunečního záření dopadajícího na plochu orientace které určím podle vztahu (5.2), pro tento výpočet si musím na základě sklonu střechy a azimutového úhlu zjistit hodnoty $Q_{s,t}$ a τ_{rel} [7], které uvádím v Tabulce 3.

$$Q_{s,m} = \tau_{rel} \cdot Q_{s,t} \cdot d \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (5.2)$$

kde $Q_{s,m}$ skutečné množství dopadajícího záření $[\text{kWh/m}^2]$,

τ_{rel} relativní doba slunečního svitu [-],

$Q_{s,t}$ teoretická energie dopadající za den $[\text{kWh/m}^2]$,

d počet dní v měsíci [-].

$$Q_{s,m} = 0,27 \cdot 2,9 \cdot 31 = 24,27 \text{ kWh/m}^2$$

Tabulka 3: Tabulka vypočtených ($Q_{p,m}$, $Q_{p,r}$, $Q_{s,m}$) a tabulkových hodnot ($Q_{s,t}$, τ_{rel} , τ_{teor} , t_e)

	Vypočítané hodnoty			Hodnoty z tabulek			
Měsíc	$Q_{p,m}$	$Q_{p,r}$	$Q_{s,m}$	τ_{rel}	$Q_{s,t}$	t_e	τ_{teor}
[-]	kWh	kWh/rok	$[\text{kWh/m}^2]$	[-]	$[\text{kWh/m}^2]$	$[\text{°C}]$	$[\text{h}]$
Leden	132,46	1559,6	24,27	0,27	2,9	0,78	8,26
Únor	119,64		37,88	0,3	4,51	0,14	10,12
Březen	132,46		57,66	0,3	6,2	4,96	12
Duben	128,19		81,36	0,37	7,33	8,44	13,9
Květen	132,46		117,73	0,47	8,08	13,58	15,7
Červen	128,19		115,43	0,45	8,55	16,82	16,34
Červenec	132,46		137,76	0,55	8,08	19,36	15,7
Srpen	132,46		124,98	0,55	7,33	19,1	13,9
Září	128,19		79,98	0,43	6,2	13,66	12
Říjen	132,46		53,13	0,38	4,51	8,2	10,12
Listopad	128,19		16,53	0,19	2,9	3,68	8,26
Prosinec	132,46		13,62	0,18	2,44	0,294	7,85

5.2. Volba kolektoru

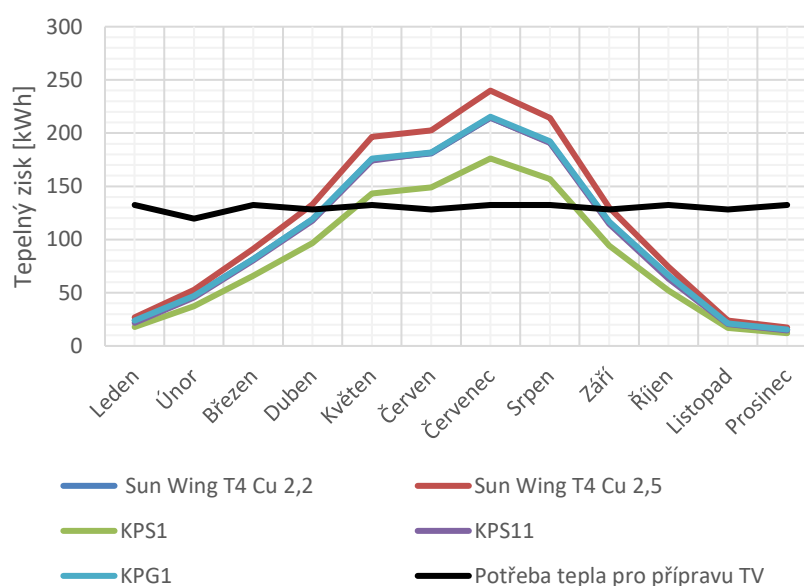
Po analýze nabídky na českém trhu jsem vybral dohromady 5 kolektorů od českých firem Regulus a TWI, které působí na trhu již desítky let. Vybíral jsem pouze ploché solární

kolektory, hlavně z důvodu výrazně nižší pořizovací ceny oproti trubcovým solárním kolektorům. Dalším důvodem proč jsem nezvolil trubcové solární kolektory je stagnace, ke které by docházelo v letních měsících z důvodu výrazně vyšších přebytků tepla než u plochých kolektorů. Pro zmiňovaných 5 vybraných solárních kolektorů jsem provedl výpočet potřebných hodnot (viz. kapitola 5.3) a následně jsem je vzájemně porovnal.

Tabulka 4: Ceny a výsledné hodnoty jednotlivých kolektorů

Kolektor	Cena	Solární podíl	Nedostatky tepla	Přebytky tepla
[-]	Kč	%	[kWh/rok]	[kWh/rok]
Sun Wing T4 Cu 2,2	12 463	65,2	542,93	236,89
Sun Wing T4 Cu 2,5	14 036	68,5	491,2	334,4
KPS1	11 217	59,2	640,59	99,64
KPS11	13 189	64,4	555,34	235,89
KPG1	15 851	65,2	542,62	240,06

Jak můžete vidět na (Obrázku 16), největší tepelné zisky má kolektor (Sun Wing T4 Cu 2,5), nicméně má také největší přebytky tepla v letních měsících a vyšší pořizovací cenu. Dále můžete vidět kolektory (KPG1, KPS11 a Sun Wing T4 Cu 2.2), jejichž tepelné zisky jsou téměř totožné a jejich křivky se v grafu překrývají, tyto kolektory mají také velké tepelné zisky, ale přebytky tepla jsou stále vysoké. A proto jsem hlavně z důvodu nejnižší pořizovací ceny a nejmenších přebytků tepla, které by měli nepříznivý vliv na délku životnosti celého solárního systému, zvolil kolektor (KPS1) od firmy Regulus a to i na úkor menších tepelných zisků tohoto kolektoru.



Obrázek 16: Graf tepelných zisků vybraných kolektorů v jednotlivých měsících

5.3. Výpočet kolektoru

Pro zvolený kolektor KPS1 nyní provedu ukázkový výpočet (všechny níže uvedené proměnné výpočty jsou pro měsíc leden). K výpočtům budu dále potřebovat jeho níže uvedené technické parametry, které jsou vztaženy na plochu apertury:

- $\eta_0 = 0,777$ optická účinnost kolektoru,
- $a_1 = 4,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru,
- $a_2 = 0,0073 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^2$ kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru,
- $S_a = 1,907 \text{ m}^2$ plocha apertury.

5.3.1. Průměrná měsíční účinnost kolektoru

Před výpočtem průměrné měsíční účinnosti kolektoru je potřeba si nejdřív spočítat střední teplotu teplotnosné kapaliny $t_{stř}$ (viz. vztah 5.3).

$$t_{stř} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (5.3)$$

kde t_1 teplota vody na vstupu [$^{\circ}\text{C}$],
 t_2 teplota vody na výstupu [$^{\circ}\text{C}$].

$$t_{stř} = \frac{10 + 50}{2} = 30 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Dále je také nutné spočítat průměrnou měsíční intenzitu celkového záření dopadajícího na kolektor G (viz. vztah 5.4), který budeme pro výpočet měsíční účinnosti kolektoru následně potřebovat. Hodnoty $Q_{s,t}$, a τ_{teor} jsou uvedeny v Tabulce 3. Spočítané výsledky pro jednotlivé měsíce jsou zaznamenány v Tabulce 5.

$$G = \frac{Q_{s,t} \cdot 1000}{\tau_{teor}} \quad [\text{W/m}^2] \quad (5.4)$$

kde τ_{teor} teoretická doba slunečního svitu [h],
 $Q_{s,t}$ teoretická energie dopadající za den [kWh/m^2].

$$G = \frac{2,9 \cdot 1000}{8,26} = 351,1 \text{ W/m}^2$$

Nyní už nám zbývá jenom zjistit hodnotu t_e , která je uvedena v Tabulce 3, a můžeme se pustit do výpočtu měsíční účinnosti kolektoru η (viz. vztah 5.5). Výsledky pro jednotlivé měsíce jsou uvedeny v Tabulce 5.

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(t_{stř} - t_e)}{G} - a_2 \cdot \frac{(t_{stř} - t_e)^2}{G} \quad [-] \quad (5.5)$$

kde η_0 optická účinnost kolektoru [-],
 a_1 lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [$W/m^2 \cdot K^2$],
 a_2 kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [$W/m^2 \cdot K^2$],
 t_e střední teplota okolí v době slunečního svitu [$^{\circ}C$],
 $t_{stř}$ střední teplota teplotnosné kapaliny [$^{\circ}C$],
 G intenzita celkového záření dopadajícího na kolektor [W/m^2].

$$\eta = 0,777 - 4,35 \cdot \frac{(30 - 0,78)}{351,1} - 0,0073 \cdot \frac{(30 - 0,78)^2}{351,1} = 0,397$$

5.3.2. Měrný tepelný zisk kolektoru

Nyní si pro jednotlivé měsíce stanovím měrný tepelný zisk kolektoru Q_k (viz. vztah 5.6), který je zapotřebí pro další výpočty. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 5.

$$Q_k = \eta \cdot Q_{s,m} \quad [kWh/m^2] \quad (5.6)$$

kde η účinnost kolektoru v určitém měsíci [-],
 $Q_{s,m}$ skutečné množství dopadajícího slunečního záření [kWh/m^2].

$$Q_k = 0,397 \cdot 24,27 = 9,64 \text{ kWh/m}^2$$

Tabulka 5: Výsledné hodnoty v jednotlivých měsících

Měsíc	G	η	Q_k
[-]	[W/m^2]	[%]	[kWh/m^2]
Leden	351,1	0,397	9,64
Únor	445,7	0,486	18,39
Březen	516,7	0,566	32,64
Duben	527,3	0,599	48,75
Květen	514,6	0,638	75,13

Červen	523,3	0,667	77,04
Červenec	514,6	0,687	94,65
Srpen	527,3	0,687	85,87
Září	516,7	0,639	51,14
Říjen	445,7	0,564	29,97
Listopad	351,1	0,451	7,45
Prosinec	310,8	0,361	4,92

5.3.3. Návrh počtu kolektorů

Abych zjistil vyhovující počet kolektorů, budu nejdříve muset spočítat teoretickou plochu kolektoru S_t (viz. vztah 5.7). Pro tento výpočet je potřeba určit si měsíc s rovnovážnou energetickou bilancí. Volím měsíc duben, kdy končí topná sezóna a kdy solární systém dokáže pokrýt víceméně celou potřebu tepla pro přípravu TV. Následně použiju pro výpočet dubnové hodnoty $Q_{p,m}$ a Q_k (viz. Tabulka 3 a 5).

$$S_t = \frac{Q_{p,m}}{Q_k} \quad [\text{m}^2] \quad (5.7)$$

kde $Q_{p,m}$ potřebné teplo na přípravu TV za jeden měsíc [kWh],
 Q_k měrný tepelný zisk kolektoru [kWh/m²].

$$S_t = \frac{128,19}{48,75} = 2,63 \text{ m}^2$$

Nyní si na základě vypočtené teoretické plochy kolektoru a plochy apertury kolektoru zmíněné na začátku kapitoly 5.3 určím potřebný počet kolektorů n_{kol} (viz. vztah 5.8).

$$n_{kol} = \frac{S_t}{S_a} \quad [-] \quad (5.8)$$

kde S_t teoretická plocha kolektoru [m²],
 S_a plocha apertury kolektoru [m²].

$$n_{kol} = \frac{2,63}{1,907} = 1,37 \cong 1 \text{ kolektor}$$

Ještě zbývá dopočítat celkovou plochu apertury, která se spočítá jednoduchým vztahem uvedeným níže:

$$S_{a,c} = n_{kol} \cdot S_a \quad [-] \quad (5.9)$$

kde n_{kol} teoretická plocha kolektoru [-],
 S_a plocha apertury kolektoru [m²],
 $S_{a,c}$ celková plocha apertury kolektoru [m²].

$$S_{a,c} = 1 \cdot 1,907 = 1,907 \text{ m}^2$$

5.3.4. Energetická bilance v jednotlivých měsících

Následuje určení měsíčních zisků tepla solární soustavou, které následně porovnáme s měsíční potřebou tepla pro přípravu TV. Díky tomu budu schopen určit, jak bude solární soustava schopna pokrýt potřebu tepla v jednotlivých měsících, a případně kdy budou nedostatky tepla a naopak kdy budou přebytky tepla. Výsledky jsou přehledně znázorněny v grafu (viz. Obrázek 17), případně v Tabulce 6, kde můžete vidět červeně nedostatky a zeleně přebytky tepla v jednotlivých měsících.

$$Q_{z,m} = Q_k \cdot S_{a,c} \quad [\text{kWh}] \quad (5.10)$$

kde $Q_{z,m}$ maximální měsíční zisk tepla solární soustavy [kWh],
 Q_k měsíční měrný tepelný zisk kolektoru [kWh/m²],
 $S_{a,c}$ celková plocha apertury kolektoru [m²].

$$Q_{z,m} = 9,52 \cdot 1,907 = 18,39 \text{ kWh}$$

Tabulka 6: Energetická bilance v jednotlivých měsících

Měsíc	Potřeba tepla	Max. tepelný zisk	Přebytky/nedostatky tepla	Skut. tepelný zisk
[-]	$Q_{p,m}$ [kWh]	$Q_{z,m}$ [kWh]	$Q_{přeb./ned.}$ [kWh]	$Q_{z,m,skut}$ [kWh]
			$ Q_{z,m} - Q_{p,m} $	
Leden	132,46	18,39	114,07	18,39
Únor	119,64	35,08	84,57	35,08
Březen	132,46	62,25	70,21	62,25
Duben	128,19	92,96	35,22	92,96

Květen	132,46	143,28	10,82	132,46
Červen	128,19	146,91	18,72	128,19
Červenec	132,46	180,50	48,04	132,46
Srpen	132,46	163,75	31,29	132,46
Září	128,19	97,53	30,66	97,53
Říjen	132,46	57,16	75,30	57,16
Listopad	128,19	14,21	113,97	14,21
Prosinec	132,46	9,38	123,08	9,38

Na základě vypočítaných hodnot z Tabulky 6 si spočítám maximální celoroční tepelný zisk solární soustavy $Q_{z,r}$ (viz. vztah 5.11).

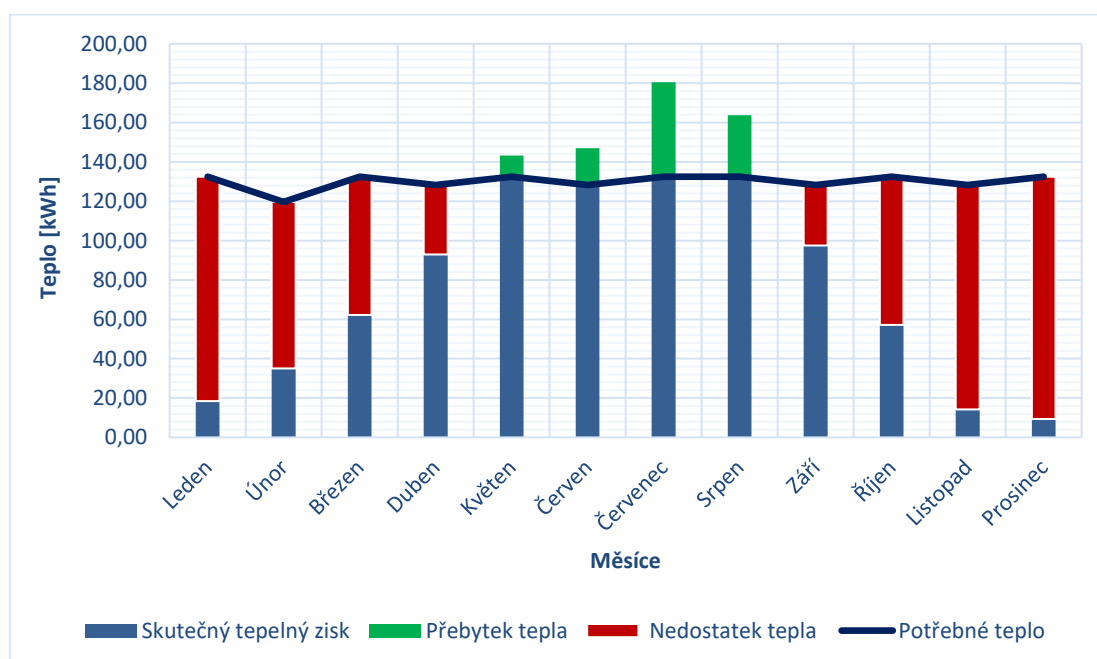
$$Q_{z,r} = \sum_{i=1}^{12} Q_{z,m_i} \quad [\text{kWh}] \quad (5.11)$$

$$Q_{z,r} = 1021,4 \text{ kWh}$$

Nyní si podle hodnot z tabulky 6 spočítám skutečný celoroční tepelný zisk solární soustavy $Q_{z,r,skut}$ (viz. vztah 5.12).

$$Q_{z,r,sk} = \sum_{i=1}^{12} Q_{z,m,skut_i} \quad [\text{kWh}] \quad (5.12)$$

$$Q_{z,r,sk} = 912,52 \text{ kWh}$$



Obrázek 17: Grafické znázornění energetické bilance solární soustavy v jednotlivých měsících

Jak je patrné z Obrázku 17, navržený solární kolektor dokáže z 80 až 100 % pokrýt potřebu tepla pro přípravu TV pouze od dubna do září. V letních měsících mezi květnem až srpnem dochází k přebytkům tepelné energie, které jsem díky vhodné volbě kolektoru dokázal minimalizovat, zbývající přebytky nejsou v tomto případě nijak využity. Částečným řešením tohoto problému by do budoucna mohlo být například pořízení bazénu, kde by se část těchto přebytků dala využít k ohřevu bazénové vody. Jak je dále z grafu patrné, zbylé měsíce bude pro přípravu teplé vody nutno použít z větší části doplňkový zdroj pro ohřev vody (v našem případě již zmiňovaný plynový kotel), jelikož solární systém nebude schopen pokrýt naši potřebu tepla pro přípravu TV.

Nyní si spočítám poslední dva parametry, které jsou součástí podmínek, podle kterých se rozhoduje zda máte nárok na čerpání dotací Nová zelená úsporám. První z nich je solární podíl f , který se spočítá následovně:

$$f = \frac{Q_{z,r,sk}}{Q_{p,r}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.13)$$

kde $Q_{z,r,sk}$ roční skutečný zisk tepla solární soustavy [kWh],
 $Q_{p,r}$ roční potřeba tepla pro přípravu TV [kWh].

$$f = \frac{912,52}{1559,6} \cdot 100 = 58,5 \%$$

Druhým a posledním potřebným parametrem, který musíme zjistit je skutečný roční zisk tepla vztažený na m^2 plochy apertury, jež se značí $Q_{rza,skut}$ a spočítá se takto:

$$Q_{rza,skut} = \frac{Q_{z,r,sk}}{S_{a,c}} \quad [kWh/m^2] \quad (5.14)$$

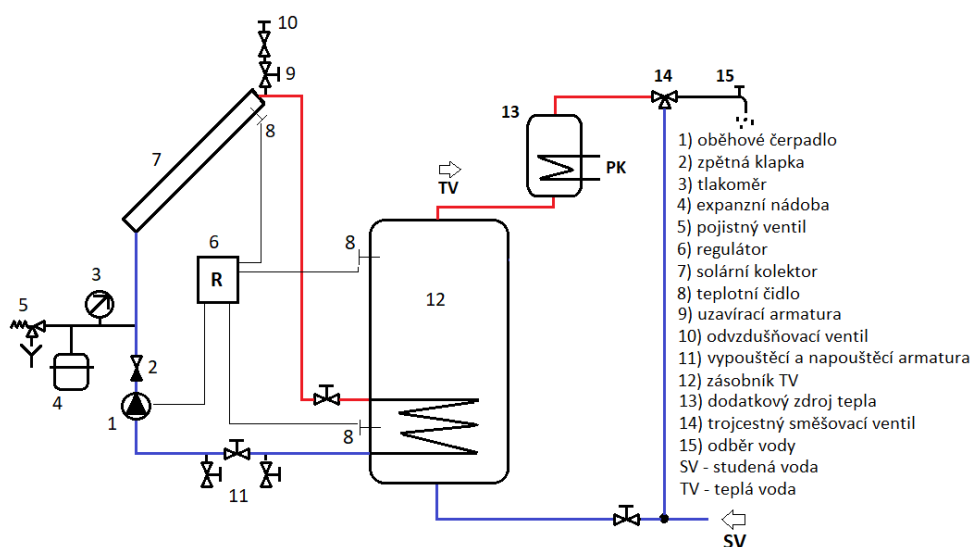
kde $Q_{z,r,sk}$ roční skutečný zisk tepla solární soustavy [kWh],
 $S_{a,c}$ celková plocha apertury [m^2].

$$Q_{rza,skut} = \frac{912,52}{1,907} = 478,5 \text{ kWh}/m^2$$

5.4. Volba zbylých prvků solárního systému

Navržený solární systém se řadí mezi maloplošné soustavy (do 20 m²), tudíž jsem zvolil high flow systém, neboli systém s vysokým průtokem (50 až 75 l/h·m²), který je běžný právě u těchto maloplošných soustav pro rodinné domy, kdy se vlivem vysokého průtoku pomalu a postupně nabíjí celý objem zásobníku.

Půjde o uzavřenou soustavu, kterou je díky teplotnosné nemrznoucí solární kapalině možné provozovat v průběhu celého roku. Tato teplotnosná kapalina je na bázi propylenglykolu s bodem tuhnutí při -33°C.



Obrázek 18: Schéma navržené solární soustavy s popisem

Zásobník TV

Jak můžete vidět na Obrázku 18, zvolil jsem monovalentní solární zásobník TV. Půjde tedy o solární soustavu s předehřívacím zásobníkem, která se používá zejména v případech, kdy doplňujete stávající systém na přípravu TV právě novým solárním systémem. Funguje tak, že pokud teplota vody na výstupu ze zásobníku nedosáhne požadované teploty, dojde k jejímu dohřátí v dodatkovém zdroji tepla přes který je vedena, tedy v malém zásobníku ohříváném plynovým kotlem.

Na základě výpočtu (viz. vztah 5.15) jsem zjistil minimální objem zásobníku V_z a podle něj jsem zvolil 120 litrový zásobník RGC 120 H od firmy Regulus. Jedná se o zásobník s jedním integrovaným smaltovaným výměníkem ve spodní část, který také nabízí možnost instalace doplňkového elektrického topného tělesa. [10]

$$V_z = n \cdot m_{o,d} \cdot 1,5 \quad [1] \quad (5.15)$$

kde n počet osob [-],
 $m_{o,d}$ spotřeba osoby za den [l].

$$V_z = 2 \cdot 40 \cdot 1,5 = 120 \text{ l}$$

Čerpadlová skupina

Pro tento solární systém jsem zvolil jednocestnou solární čerpadlovou stanici UPM3 15-75, která je určena pro kolektorovou plochu 2-30 m² a průtok 0,5-15 l/min. Maximální provozní teplota činí 110°C a obsahem stanice je nízkoenergetické čerpadlo Willo, plnicí ventily, pojistný ventil, zpětná klapka, tlakoměr a připojení pro expanzní nádobu. [11]

Regulátor

Rozhodl jsem se pro solární diferenční regulátor TWI typu SGC 16H, který umožňuje řízení otáček solárního čerpadla. Displej regulátoru je grafický a menu je v českém jazyce, což umožňuje jednodušší a přehlednější ovládání. Součástí balení jsou také 3 teplotní čidla.[12]

Expanzní nádob

Na základě informací uvedených v návodu na instalaci a použití solárního kolektoru KPS1 jsem zvolil expanzní nádobu SLO12 od firmy Regulus, která má objem 12 litrů a je pro navržený solární systém s jedním kolektorem dostačující. Tato nádob umožňuje změnu objemu teplotnosné kapaliny vlivem tepelné objemové roztažnosti, bez nedovoleného zvýšení tlaku a zbytečných ztrát kapaliny, ke kterým dochází po otevření pojistného ventilu. [13] [14]

Ostatní prvky

Aby byla solární soustava kompletní, bude zapotřebí zvolit také další nezbytné prvky jako jsou různé armatury, ventily, potrubí, izolaci, které zajišťují bezpečný a bezproblémový chod celé soustavy. Zvolené prvky jsou uvedeny (viz. Obrázek 18, Tabulka 8).

6. Ekonomické zhodnocení

Důležitou součástí každého projektu je také ekonomická analýza, kterou se zabývám v této kapitole. Na základě níže provedených výpočtů se budu snažit vyhodnotit jestli tato investice dává z ekonomického hlediska smysl.

6.1. Stanovení ročních ušetřených nákladů

Jako první si budu muset určit o kolik se mi po využití tepelné solární soustavy pro ohřev TV sníží spotřeba zemního plynu (viz. vztah 6.1). Pro tento výpočet budu potřebovat již spočítanou hodnotu skutečného tepelného celoročního zisku solární soustavy ($Q_{z,r,sk} = 912,52 \text{ kWh}$), kterou budu muset snížit o 3 %, což přibližně odpovídá energii spotřebované čerpadlem při provozu maloplošných solárních soustav. Po odečtení získám $Q_{z,r,sk}^* = 885,1 \text{ kWh}$.

$$m_{p,u} = \frac{Q_{z,r,sk}^* \cdot 3,6}{\eta_k \cdot Q_i} \quad [\text{m}^3] \quad (6.1)$$

kde $m_{p,u}$ roční množství ušetřeného paliva [m^3],
 Q_i výhřevnost zemního plynu [MJ/m^3],
 $Q_{z,r,sk}^*$ upravený roční tepelný zisk solární soustavy [kWh],
 η_k účinnost plynového kotle [-].

$$m_{p,u} = \frac{885,1 \cdot 3,6}{0,8 \cdot 33} = 120,7 \text{ m}^3$$

Na základě množství ušetřeného paliva a ceně paliva (v mém případě $14,77 \text{ Kč}/\text{m}^3$) jsem nyní schopen určit roční přínosy solární soustavy, jenž se spočítají následovně:

$$CF = m_{p,u} \cdot Cena_{pal} \quad [\text{Kč}] \quad (6.2)$$

kde $m_{p,u}$ roční množství ušetřeného paliva [m^3],
 CF roční přínosy solární soustavy [Kč],
 $Cena_{pal}$ cena zemního plynu [$\text{Kč}/\text{m}^3$].

$$CF = 120,7 \cdot 14,77 = 1782,7 \text{ Kč}$$

6.2. Stanovení doby návratnosti

K dalším výpočtům budu potřebovat znát celkové investiční náklady IN, které jsou uvedeny v tabulce 8 společně se seznamem položek solární soustavy. Do celkové investice je započítána také dotace, u které si budu nejdříve muset ověřit zda mám nárok na její čerpání.

Tabulka 7: Ověření splnění podmínek potřebných pro čerpání dotace [9]

Sledovaný parametr	Označení [jednotky]	Požadováno	Navržený systém
Vypočtený celkový využitelný zisk solární soustavy	$Q_{z,r,sk}$ [kWh/rok]	bez požadavku	912,5
Vypočtený měrný využitelný zisk solární soustavy	$Q_{rza,skut}$ [kWh/m ² · rok]	≥350	478,5
Minimální pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody	f [%]	50	58,5
Minimální měrný objem akumulčního zásobníku tepla vztahený k celkové ploše apertury	[l · m ²]	45	57,1

Jak můžete vidět v Tabulce 7, ověřil jsem si zda navržený solární systém splňuje všechny podmínky potřebné pro získání dotace. Jelikož jsou všechny podmínky splněny, můžu počítat s dotací, která Moravskoslezském kraji činí 38 500 Kč pro tepelný solární systém na přípravu TV. Tuto dotaci tak můžu odečíst z celkové investice. Dále musím uvést, že servisní náklady a náklady na výměnu některých dílů solární soustavy v průběhu její životnosti jsem v této studii zanedbal.

Tabulka 8: Celková hodnota investice

Prvek	Typ	Firma	Počet kusů	Cena za kus
Kolektor	KPS1	Regulus	1	11 217
Připojovací sada pro kolektor	-	Regulus	1	881
Montážní sada pro kolektor	KPS1+ ANT	Regulus	1	1670
Odvzdušňovací sada pro kolektor	-	TWI	1	1044
Zásobník TV	RGC 120 H	Regulus	1	14 520
Čerpadlová skupina (jednocestná)	UPM3 - 15-75	TWI	1	8589
Regulátor	TWI SGC 16H	TWI	1	4695
Expanzní nádoba	SLO12	Regulus	1	1283
Nerez trubka (30m)	Kombiflex (DN 12)	Regulus	1	4580
Izolace (30m)	DN16	Regulus	1	1830
Kulový ventil	-	Regulus	2	304
Trojcestný směšovací ventil	-	TWI	1	1530
Teplonosná kapalina	Propylenglykol	TWI	1	1131
Práce	-	-	1	10 000
Dotace	-	-	1	-38 500
Investiční náklady IN [Kč]				25 078

Nyní si můžu spočítat prostou dobu návratnosti T_s , která je jenom přibližným ukazatelem za jakou dobu by se nám měla investice vrátit. Počítá se pomocí vztahu:

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad [\text{let}] \quad (6.3)$$

kde IN investiční náklady [Kč],
 CF roční přínos solární soustavy [Kč].

$$T_s = \frac{25078}{1782,7} = 14 \text{ let}$$

Prostá doba návratnosti investice činí 14 let, velkou roli zde hraje získaná dotace, jelikož kdybychom dotaci nezískali prostá doba návratnosti by se pohybovala kolem 35,5 let, v takové situaci by se tedy tato investice vůbec nevyplatila realizovat. Zjištěnou prostou dobu návratnosti nicméně ovlivňují další faktory, které je nutno brát v úvahu.

Nyní si určím reálnou dobu návratnosti (viz. vztah 6.4), pro kterou je nutné si stanovit hodnotu diskontu jenž je ovlivněn například inflací nebo rizikovostí. Průměrná inflace v ČR za posledních 10 let se pohybuje kolem 1,86 % ročně a vzhledem k současné situaci, kdy se do oběhu uvolňuje spousta nových peněz, lze v nejbližších letech očekávat její nárůst. Proto stanovuji hodnotu diskontu pro další výpočet na 2,5 %. Důležitou roli bude hrát ve výpočtu také doba životnosti kolektoru T_z , jenž je v našem případě 25-30 let, počítat budu spíše s nižší hodnotou, tedy 25 let. [15]

$$\sum_{t=1}^{T_z} CF \cdot (1 + r)^{-t} = IN \quad [-] \quad (6.4)$$

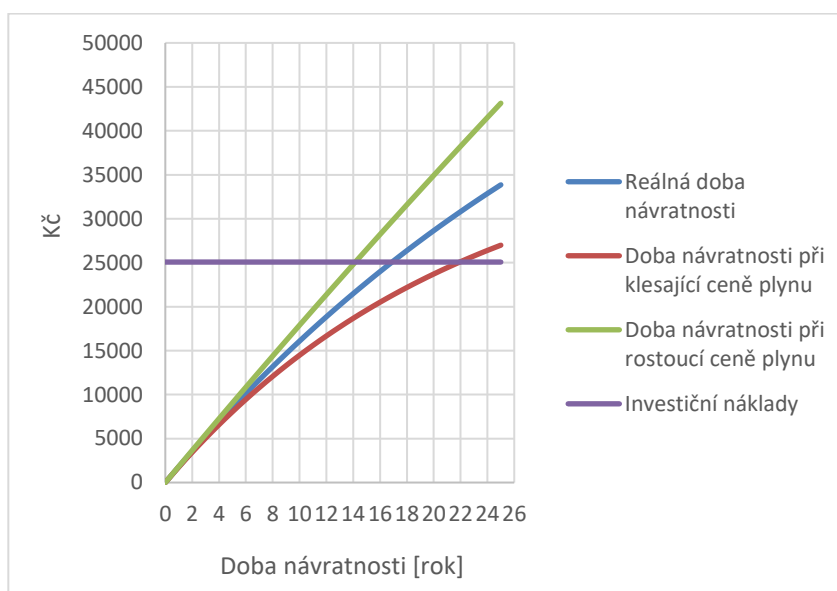
kde IN investiční náklady [Kč],
 CF roční přínosy solární soustavy [Kč],
 r diskont [-],
 T_z doba životnosti kolektoru [let].

$$\sum_{t=1}^{17} 1782,7 \cdot (1 + 0,025)^{-t} = 24\,444 \text{ Kč} < 25\,078 \text{ Kč}$$

$$\sum_{t=1}^{18} 1782,7 \cdot (1 + 0,025)^{-t} = 25\,587 \text{ Kč} > 25\,078 \text{ Kč}$$

Z výpočtu je zřejmé, že reálná doba návratnosti investice je cca 17,5 let. Můžeme tedy říct, že reálná doba návratnosti je o něco delší (3 roky), než prostá doba návratnosti.

Na dobu návratnosti bude mít však vliv také vývoj ceny paliva použitého u našeho doplňkového zdroje pro ohřev teplé vody, tedy plynu. Z vyúčtování jsem zjistil, že cena plynu za posledních 11 let vzrostla o necelých 20 %. Proto jsem otestoval, jak by se měnila reálná doba návratnosti investice v případě, že by cena plynu za dalších 10 let průběžně poklesla, ale také i vzrostla o 20 %, což je v takovém časovém horizontu možné. Jak by to v těchto případech dobu návratnosti ovlivnilo můžete vidět na Obrázku 19.



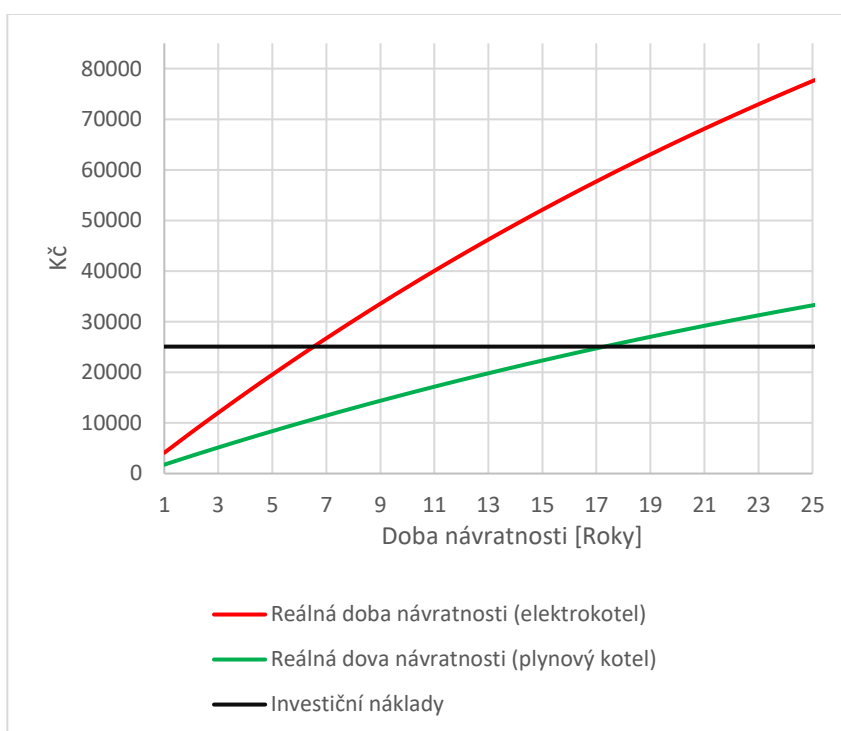
Obrázek 19: Vliv ceny plynu na dobu návratnosti

Jak si můžete všimnout, takový růst ceny plynu by dobu návratnosti pozitivně ovlivnil, následně by se doba návratnosti zkrátila přibližně o 3 roky na výsledných 14,5 let. Na druhou stranu pokles ceny plynu by měl na výslednou dobu návratnosti o dost výraznější a negativní vliv, kdy by se návratnost investice prodloužila o 5,5 let na výsledných 23 let.

Na základě životnosti solární soustavy (25 let) a zjištěných hodnot, kdy se reálná doba návratnosti pohybuje kolem 17,5 let, hodnotím v tomto případě investici spíše negativně, a to proto, že u tak nízké investice (která po započtení dotace činí pouze 25 078 Kč) bych čekal výrazně rychlejší návratnost. Tím nechci říct, že by tato investice byla zcela nerentabilní, ale spíše bych řekl, že v tomto případě, kdy je doplňkovým zdrojem pro ohřev TV plynový kotel

na zemní plyn a kdy nevíme jakým směrem se budou ceny plynu do budoucna pohybovat, není tato investice za aktuálních podmínek z ekonomického hlediska příliš lákavá.

Na druhou stranu, kdy by tato investice z ekonomického hlediska dávala větší smysl, by bylo v případě, že by jako doplňkový zdroj pro ohřev TV v domě byl použit například elektrický kotel. Jelikož je cena elektrické energie o dost vyšší než u zemního plynu a dlouhodobě cena elektrické energie roste, mělo by to velice příznivý dopad na dobu návratnosti, která by se mohla v tomto případě (jednotarifová sazba D 02d pro střední spotřebu s průměrnou cenou elektřiny 4,7 Kč) pohybovat někde kolem 7 let (viz. Obrázek 20). Tato varianta by tedy byla výrazně rentabilnější.



Obrázek 20: Porovnání reálné doby návratnosti investice při využití dvou různých zdrojů pro ohřev TV

7. Environmentální zhodnocení

V posledních letech se lidé čím dál více zajímají o problém, kterým je globálního oteplování a snaží se přijít na to jak ho vyřešit. Nastává pozvolný odklon od klasických zdrojů energie, které svojí vysokou produkcí skleníkových plynů globální oteplování urychlují a hledají se nové alternativní cesty a způsoby, jak tomuto problému zabránit.

Přínos životnímu prostředí je proto dalším důležitým faktorem při pořizování solárních soustav pro ohřev TV. Díky pořízení těchto solárních soustav jsme schopni snížit emise vyprodukované klasickými zdroji používanými pro ohřev TV jako jsou kotle na plyn, elektřinu, uhlí, apod. To je taky důvodem proč stát podporuje lidi v pořizování těchto alternativních zdrojů energie poskytováním dotací. O kolik jsme schopni snížit vyprodukované emise v tomto konkrétním případě se pokusím zjistit v následujících výpočtech.

7.1. Stanovení množství emisí před pořízením SS

Před zavedením solárního systému byl pro přípravu veškeré teplé vody použit plynový kotel na zemní plyn. Proto abych zjistil jaké množství emisí kotel ročně vyprodukoval, budu muset nejdříve určit roční spotřebu paliva před zavedením solárního systému, která se určí ze vztahu:

$$m_{p,před} = \frac{Q_{p,r} \cdot 3,6}{\eta_k \cdot Q_i} \quad [\text{m}^3] \quad (7.1)$$

kde $m_{p,před}$ roční spotřeba paliva bez SS [m^3],
 Q_i výhřevnost zemního plynu [MJ/m^3],
 $Q_{p,r}$ roční potřeba tepla pro přípravu TV [kWh],
 η_k účinnost plynového kotle [-].

$$m_{p,před} = \frac{1559,6 \cdot 3,6}{0,8 \cdot 33} = 212,7 \text{ m}^3$$

Na základě roční spotřeby paliva nyní můžu určit množství jednotlivých složek emisí vyprodukovaných za rok. K tomuto výpočtu je zapotřebí také zjistit si emisní faktory pro dané palivo, které jsem uvedl v Tabulce 9. Výpočty množství jednotlivých složek emisí jsou uvedeny níže.

Tabulka 9: Hodnoty emisních faktorů při spalování zemního plynu [16] [17]

Znečišťující látka	TZL	SO ₂	NO _x	CO	OL	CO ₂
Jednotka	kg/10 ⁶ m ³ spáleného plynu					t CO ₂ /MWh výhřevnosti paliva
Emisní faktor	20	9,6	1300	320	64	0,2

Roční vyprodukované množství tuhých znečišťujících látek, před pořízením solárního systému se vypočítá následovně:

$$TZL_{před} = m_{p,před} \cdot TZL \quad [\text{kg}] \quad (7.2)$$

kde $m_{p,před}$ roční spotřeba paliva bez SS [m³],

TZL emisní faktor tuhých znečišťujících látek [kg].

$$TZL_{před} = 212,7 \cdot 0,00002 = 0,004 \text{ kg}$$

Roční vyprodukované množství oxidu siřičitého, před pořízením solárního systému se vypočítá:

$$SO_{2před} = m_{p,před} \cdot SO_2 \quad [\text{kg}] \quad (7.3)$$

kde $m_{p,před}$ roční spotřeba paliva bez SS [m³],

SO_2 emisní faktor SO₂ [kg].

$$SO_{2před} = 212,7 \cdot 0,0000096 = 0,002 \text{ kg}$$

Roční vyprodukované množství oxidů dusíku, před pořízením solárního systému se spočítá:

$$NO_{xpřed} = m_{p,před} \cdot NO_x \quad [\text{kg}] \quad (7.4)$$

kde $m_{p,před}$ roční spotřeba paliva bez SS [m³],

NO_x emisní faktor NO_x [kg].

$$NO_{xpřed} = 212,7 \cdot 0,0013 = 0,276 \text{ kg}$$

Roční vyprodukované množství oxidu uhelnatého, před pořízením solárního systému se vypočítá následovně:

$$CO_{před} = m_{p,před} \cdot CO \quad [kg] \quad (7.5)$$

kde $m_{p,před}$ roční spotřeba paliva bez SS [m³],
 CO emisní faktor CO [kg].

$$CO_{před} = 212,7 \cdot 0,00032 = 0,068 \text{ kg}$$

Roční vyprodukované množství organických látek, před pořízením solárního systému se vypočítá následovně:

$$OL_{před} = m_{p,před} \cdot OL \quad [kg] \quad (7.6)$$

kde $m_{p,před}$ roční spotřeba paliva bez SS [m³],
 OL emisní faktor OL [kg].

$$OL_{před} = 212,7 \cdot 0,000064 = 0,014 \text{ kg}$$

Pro výpočet ročního vyprodukovaného množství oxidu uhličitého, před pořízením solárního systému se použije trochu jiný vzorec, uvedený zde:

$$CO_{2před} = \frac{CO_2 \cdot m_{p,před} \cdot Q_i}{3,6} \quad [kg] \quad (7.7)$$

kde $m_{p,před}$ roční spotřeba paliva bez SS [m³],
 Q_i výhřevnost zemního plynu [MJ/m³],
 CO_2 emisní faktor CO₂ [kg].

$$CO_{2před} = \frac{0,2 \cdot 212,7 \cdot 33}{3,6} = 390 \text{ kg}$$

Když mám takto spočítány všechny roční množství vyprodukovaných emisí před pořízením solárního systému, můžu se pustit do výpočtu množství vyprodukovaných ročních emisí po zavedení solárního systému. Výsledky výše vypočtených emisí jsou přehledněji uvedeny v Tabulce 11, kde jsou také vzájemně porovnány s emisemi vyprodukovanými po zavedení SS.

7.2. Stanovení množství emisí po pořízení SS

Postup pro výpočet ročního množství vyprodukovaných emisí po pořízení solárního systému se provede obdobně, jako tomu bylo v minulé podkapitole. Jediná změna bude v množství paliva, které se za rok spotřebuje. To si nyní musíme určit a prvním krokem pro jeho určení bude výpočet množství paliva, které za rok ušetříme (viz. vztah 7.8).

$$m_{p,uš} = \frac{Q_{z,r,sk} \cdot 3,6}{\eta_k \cdot Q_i} \quad [\text{m}^3] \quad (7.8)$$

kde $m_{p,uš}$ roční množství ušetřeného paliva [m^3],
 Q_i výhřevnost zemního plynu [MJ/m^3],
 $Q_{z,r,sk}$ roční skutečný zisk tepla solární soustavy [kWh],
 η_k účinnost plynového kotle [-].

$$m_{p,uš} = \frac{912,5 \cdot 3,6}{0,8 \cdot 33} = 124,4 \text{ m}^3$$

Nyní si jednoduchým výpočtem můžu určit roční spotřebu paliva po pořízení SS, která se spočítá:

$$m_{p,po} = m_{p,před} - m_{p,uš} \quad [\text{m}^3] \quad (7.9)$$

kde $m_{p,po}$ roční spotřeba paliva po pořízení SS [m^3],
 $m_{p,před}$ roční spotřeba paliva před pořízením SS [m^3],
 $m_{p,uš}$ roční množství ušetřeného paliva [m^3].

$$m_{p,po} = 212,7 - 122,1 = 88,2 \text{ m}^3$$

V tuto chvíli už si můžu určit množství jednotlivých vyprodukovaných složek emisí po pořízení SS. Výpočet je proveden obdobně jako ve vztazích (7.2 až 7.7) pouze s jedinou změnou, kdy se namísto $m_{p,před}$ použije hodnota $m_{p,po}$. Stručné výpočty uvádím níže:

$$TZL_{po} = m_{p,po} \cdot TZL = 88,2 \cdot 0,00002 = 0,002 \text{ kg}$$

$$SO_{2po} = m_{p,po} \cdot SO_2 = 88,2 \cdot 0,0000096 = 0,001 \text{ kg}$$

$$NO_{x_{po}} = m_{p,po} \cdot NO_x = 88,2 \cdot 0,0013 = 0,115 \text{ kg}$$

$$CO_{po} = m_{po} \cdot CO = 88,2 \cdot 0,00032 = 0,028 \text{ kg}$$

$$OL_{po} = m_{po} \cdot OL = 88,2 \cdot 0,000064 = 0,006 \text{ kg}$$

$$CO_{2_{po}} = \frac{CO_2 \cdot m_{po} \cdot Q_i}{3,6} = \frac{0,2 \cdot 88,2 \cdot 33}{3,6} = 161,7 \text{ kg}$$

Proto abych se přiblížil co nejpresnějšímu množství vyprodukovaných emisí, je potřeba spočítat kolik emisí je vyprodukováno při provozu čerpadla. Jak už jsem v této práci zmiňoval dříve, u malých solárních systémů platí, že čerpadlo ročně pro svůj provoz spotřebuje cca 3 % ze skutečného ročního zisku solární soustavy ($Q_{z,r,sk}$), což je v tomto případě přibližně 28 kWh ročně ($m_{čerp.}=0,028 \text{ MWh}$). Pro výpočet emisí budu potřebovat emisní faktory pro systémovou elektřinu, které jsem uvedl v Tabulce 10.

Tabulka 10: Hodnoty emisních faktorů pro systémovou elektřinu [18]

Znečišťující látka	TZL	SO ₂	NO _x	CO	VOC	PM ₂₅	CO ₂
Jednotka	kg/MWh						t CO ₂ /MWh elektřiny
Emisní faktor	0,0368	0,84124	0,56764	0,08621	0,00249	0,02208	1,17

Nyní si můžu spočítat roční množství emisí vyprodukovaných provozem čerpadla, jejich výpočet funguje na stejném principu jako v předchozích výpočtech, nicméně k výpočtu použiji $m_{čerp.}$ a emisní faktory z Tabulky 10. Výpočty budou vypadat následovně:

$$TZL_{čerp} = m_{čerp.} \cdot TZL = 0,028 \cdot 0,0368 = 0,001 \text{ kg}$$

$$SO_{2_{čerp}} = m_{čerp.} \cdot SO_2 = 0,028 \cdot 0,84124 = 0,0236 \text{ kg}$$

$$NO_{x_{čerp}} = m_{čerp.} \cdot NO_x = 0,028 \cdot 0,56764 = 0,159 \text{ kg}$$

$$CO_{čerp} = m_{čerp.} \cdot CO = 0,028 \cdot 0,08621 = 0,0024 \text{ kg}$$

$$VOC_{čerp} = m_{čerp.} \cdot VOC = 0,028 \cdot 0,00249 = 0,0001 \text{ kg}$$

$$PM_{25\check{c}erp} = m_{\check{c}erp} \cdot PM_{25} = 0,028 \cdot 0,02208 = 0,0006 \text{ kg}$$

$$CO_{2po} = m_{\check{c}erp} \cdot CO_2 = 28 \cdot 1,17 = 32,76 \text{ kg}$$

Nyní sečtu emise vyprodukované plynovým kotlem po pořízení SS a provozem čerpadla. Výsledný součet je uveden v Tabulce 11, kde je také porovnání vyprodukovaných emisí před a po pořízení SS.

Tabulka 11: Porovnání vyprodukovaných emisí před a po pořízení SS

	Emise [kg/rok]								
	TZL	SO ₂	NO _x	CO	OL	VOC	PM ₂₅	CO ₂	Σ
Před	0,004	0,002	0,276	0,068	0,014	0,0	0,0	390	390,4
Po	0,003	0,024	0,131	0,031	0,006	0,0001	0,0006	194,4	194,7
Rozdíl	0,001	-0,022	0,145	0,037	0,008	-0,0001	-0,0006	195,6	195,7

Jak je z výpočtů patrné, drtivá většina celkových emisí je tvořena oxidem uhličitým, což je plyn podílející se na zesilování skleníkového efektu, který urychluje globální oteplování. Zavedením solárního systému pro přípravu TV by se mi podařilo snížit celkové roční množství vyprodukovaných emisí o 195,7 kg, což činí necelých 50 %. Na základě provedených výpočtů tak hodnotím tento projekt z environmentálního hlediska velice kladně.

Závěr

V této práci jsem se zabýval možnostmi využití sluneční energie v rodinném domě na území ČR, a to konkrétně ohřevem vody fototermickými kolektory. Kde mým úkolem bylo navrhnout tepelný solární systém na přípravu teplé vody v rodinném domě obývaném dvěma osobami a jeho následné zhodnocení.

Jako první jsem si určil potřebu tepla pro přípravu teplé vody, na základě které jsem následovně musel vhodně zvolit jeden z pěti vybraných kolektorů. Nakonec jsem zvolil plochý solární kolektor KPS1 od firmy Regulus, zejména z důvodu nejnižších přebytků tepla v letních měsících, které způsobují stagnaci kolektoru, což by se negativně podepsalo na životnosti celé soustavy. Pro zvolený kolektor jsem provedl ilustrační výpočet důležitých hodnot potřebných v dalších částech práce. Dále jsem provedl návrh zbylých prvků solárního systému, jako jsou zásobník teplé vody, čerpadlová skupina, expanzní nádoba, atd. Pro navržený solární systém jsem také zhotovil schéma, ve kterém jsem zaznačil všechny zvolené komponenty.

V poslední části jsem navržený solární systém vyhodnotil z ekonomického a environmentálního hlediska. Kdy jsem došel k závěru, že z ekonomického hlediska se tato investice stále vyplatí, nicméně se jedná spíše o dlouhodobou investici s dobou návratnosti okolo 18 let, což je poměrně dlouhá doba vzhledem na poměrně nízké investiční náklady. U takto nízkých investičních nákladů bych očekával mnohem rychlejší dobu návratnosti a proto je z mého pohledu tato investice z ekonomického hlediska v tomto případě, kdy je jako doplňkový zdroj využit plynový kotel, nezajímavá. Naopak jsem zjistil, že v případě kdy by byl v domácnosti jako doplňkový zdroj pro přípravu teplé vody použit elektrický bojler, doba návratnosti by se pohybovala někde okolo 7 let, což už by bylo z ekonomického hlediska mnohem zajímavější.

Z environmentálního hlediska hodnotím tuto investici velice kladně, jelikož by se nám pořízením solárního systému podařilo snížit roční produkci emisí o neuvěřitelných 50 %, což v tomhle případě odpovídá 191,4 kg emisí, převážně tvořených oxidem uhličitým. 191,4 kg nemusí znít jako moc, ale při hromadnějším používání těchto systémů širokou veřejností by se mohla celková roční produkce emisí snížit řádově o tisíce tun.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu doc. Ing. Mojmíru Vrtkovi, Ph.D., za cenné odborné rady, které mi pomohli k vypracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat také své rodině za podporu v mém bakalářském studiu.

Citace

1. VRTEK, Mojmír. *Sluneční energie* [online]. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2012. 111 s. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z: https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/old_web/_files/projekty/enazp/21/IUT/140_Slunecni_energie_-_Vrtek_-_P3.pdf
2. MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelné soustavy*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194 s. ISBN 978-80-02-02186-5.
3. Wikipedie. *Termonukleární fúze [foto]*. [online]. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Termonukle%C3%A1rn%C3%AD_f%C3%BAze
4. MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-3525-2.
5. Solargis. *Solar resource maps of Czech Republic*. [online]. © 2019 The World Bank, Source: Global Solar Atlas 2.0, Solar resource data: Solargis. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/czech-republic>
6. Solární systémy. *Velim II. - Čochtan ohřev bazénu* [foto]. [online]. © Firma Stehlík 2014. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z: <https://www.solarnisystemy.cz/velim-ii-cochtan-ohrev-bazenu>
7. Vrtek, M. Podklady do předmětu AOZE. (*AOZE_Solarni_Systemy_Vrtek2_aktivni; Program_Sol_2019; Sol_Kol_1-6_poradac*) [cit. 3.5.2021].
8. SFŽP ČR. Nová zelená úsporám. *Nabídka dotací* [online]. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-zdroje-energie/>
9. SFŽP ČR. Nová zelená úsporám. *Pokyny pro žadatele*. [online]. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/dokumenty/detail/?id=591>
10. Regulus. *Zásobníky teplé vody*. [online]. © Copyright Regulus s r.o. 2015-2021. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/zasobnik-rgc-120-h>
11. TWI. *Čerpadlové stanice*. [online]. © 2017 - 2020 TWI group I effective energy I. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z: <https://www.twi.cz/slolarni-prislusenstvi/cerpadlove-stanice>
12. TWI. *Regulace*. [online]. © 2017 - 2020 TWI group I effective energy I. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z: <https://www.twi.cz/slolarni-prislusenstvi/regulace>
13. Regulus. *Expanzní nádoby*. [online]. © Copyright Regulus s r.o. 2015-2021. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/expanzni-nadoba-sl012>

14. Regulus. *Návod na instalaci a použití KPSI*. [online]. © Copyright Regulus s r.o. 2015-2021. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z:
https://www.regulus.cz/download/navody/cz/nn_cz_navod_kps1-16277.pdf
15. Kurzy. *Vývoj inflace v ČR*. [online]. © 2000 – 2021 Kurzy.cz, spol. s r.o. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/makroekonomika/inflace/?imakroGraphFrom=1.1.2011>
16. *Příloha č.2 k vyhlášce č. 205/2009 Sb.* [online]. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z:
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-205#prilohy>
17. *Vyhláška č. 425/2004 Sb.* [online]. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z:
<https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/26666/26741/299391/priloha002.pdf>
18. *Příloha č.6 k vyhlášce č. 480/2012 Sb.* [online]. [cit. 3.5.2021]. Dostupné z:
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-480>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Několikanásobná termojaderná fúze ve slunci.....	13
Obrázek 2: Elektromagnetické spektrum se zvýrazněnou viditelnou oblastí	14
Obrázek 3: Mapa s roční sumou dopadajícího globálního záření na území ČR.....	15
Obrázek 4: Schématický řez plochým solárním kolektorem	17
Obrázek 5: Porovnání lineární a skutečné účinnostní charakteristiky kolektoru.....	18
Obrázek 6: Trubicový solární kolektor	19
Obrázek 7: Naznačení průběhu účinnostní charakteristiky při izolaci pomocí vakua.....	19
Obrázek 8: Příklad bazénového absorbéru	20
Obrázek 9: Srovnání účinnostních charakteristik jednotlivých typů solárních kolektorů	20
Obrázek 10: Principy koncentračních systémů.....	21
Obrázek 11: Stagnační teploty jednotlivých solárních kolektorů	22
Obrázek 12: Schéma rozdělení solárních soustav pro ohřev TV	24
Obrázek 13: Jednookruhová soustava se samotížným oběhem	25
Obrázek 14: Dvouokruhová soustava s nuceným oběhem	25
Obrázek 15: Schéma solární soustavy s možností přitápění.....	26
Obrázek 16: Graf tepelných zisků vybraných kolektorů v jednotlivých měsících	30
Obrázek 17: Grafické znázornění energetické bilance SS v jednotlivých měsících	35
Obrázek 18: Schéma navržené solární soustavy s popisem.....	37
Obrázek 19: Vliv ceny plynu na dobu návratnosti	42
Obrázek 20: Porovnání reálné doby návratnosti investice u dvou různých zdrojů energie....	43

Seznam tabulek

Tabulka 1: Rozdělení solárních kolektorů (vlastní zpracování)	16
Tabulka 2: Požadované podmínky pro získání dotací pro solární termický systém.....	27
Tabulka 3: Tabulka vypočtených ($Q_{p,m}$, $Q_{p,r}$, $Q_{s,m}$) a tabulkových hodnot ($Q_{s,t}$, τ_{rel} , t_e)	29
Tabulka 4: Ceny a výsledné hodnoty jednotlivých kolektorů	30
Tabulka 5: Výsledné hodnoty v jednotlivých měsících.....	32
Tabulka 6: Energetická bilance v jednotlivých měsících	34
Tabulka 7: Ověření splnění podmínek potřebných pro čerpání dotace	40
Tabulka 8: Celková hodnota investice.....	40

Tabulka 9: Hodnoty emisních faktorů při spalování zemního plynu	45
Tabulka 10: Hodnoty emisních faktorů pro systémovou elektřinu	48
Tabulka 11: Porovnání vyprodukovaných emisí před a po pořízení SS.....	49

Seznam příloh

Příloha A: Výkres schématu navržené solární soustavy